



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

**ESTUDI AMB INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL DE LA
RELACIÓ ENTRE LES EMISSIONS I EL TRÀFIC DE
VEHICLES EN ELS ACCESSOS A BARCELONA**

AUTOR: Gianmarco Armas Arroyo

GRAU: Empresa i Tecnologia

TUTORA: Marta Prim Sabrià

DATA: 25/05/2020

AGRAÏMENTS

Durant aquest procés tan complicat i difícil, m'han acompanyat persones especials del meu entorn i també persones de l'àmbit acadèmic i professional, als quals vull agrair la paciència, comprensió, dedicació, temps que han dedicat en ajudar-me; així com la seva aportació dels seus coneixements i suggeriments que m'han donat durant la realització d'aquest estudi.

Aquest treball coincideix amb el moment de major maduresa personal, acadèmica i professional, i ha suposat el repte més gran que he tingut mai. I personalment em trobo molt satisfet amb l'aprenentatge assimilat i el resultat final del meu esforç reflectit.

Volia agrair a la meva tutora Marta Prim, que sempre ha estat pendent del meu progrés i d'ajudar-me a millorar aquest estudi en moments d'absolut caos, quan vaig haver de replantejar tot el treball amb l'aparició de la COVID-19. Gràcies a la seva flexibilitat, comprensió i dedicació en els moments difícils, vaig poder tirar endavant aquest treball.

I també volia fer una menció especial, al meu excompany de treball Jordi Moreno Benito, actual enginyer de trànsit en el SCT, què em va proporcionar les dades i informació necessàries per a desenvolupar el meu estudi, en un termini de temps molt curt i en una situació global molt complicada. Sense la seva ajuda i temps, aquest treball mai podria haver estat possible.

I per últim, l'agraïment infinit a la meva família i les persones especials que tinc a la meva vida, per haver-me donat suport, ajudes, ànims durant tot el meu trajecte universitari, què ha estat ple d'obstacles i inclòs sofriment, però que ja arriba al seu moment final.

RESUM

Actualment el planeta es troba en una situació límit on la contaminació i les temperatures són elevades, i si no es prenen decisions immediates, això pot suposar un canvi inimaginable per al futur de tots els éssers que conformen la Terra.

Amb aquest problema de fons, la ciutat de Barcelona va posar en marxa en l'any 2018, el "*Pla Clima 2018-2030*", amb què pretén reduir la contaminació generada a la ciutat, per convertir-se en un lloc més net i apte per als ciutadans.

Dins d'aquest pla, l'Ajuntament de Barcelona s'ha proposat aplicar restriccions de circulació als vehicles més contaminants, per a reduir el tràfic i d'aquesta manera les emissions produïdes, perquè els vehicles amb motor de combustió són els màxims generadors d'emissions contaminants a la ciutat.

Per altra banda, la Intel·ligència Artificial s'ha consolidat de manera definitiva en la societat i ja és una realitat. Aquesta tecnologia permet aplicar models i sistemes computacionals eficients, productius i en un termini de temps molt curt, gràcies al gran avenç del hardware durant l'última dècada,

Però, com podria ajudar la Intel·ligència Artificial en la problemàtica del tràfic i emissions a Barcelona? En aquest estudi donàrem a conèixer com aquesta tecnologia pot servir de molta ajuda i donar solucions a aquest problema.

INDEX

1. INTRODUCCIÓ	1-6
1.1. Descripció del treball	1
1.2. Objectius	1-2
1.3. Estat de l'art	2-5
1.4. Motivació	5
1.5. Estructura memòria	5-6
 2. INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL	 7-24
2.1. Introducció	7
2.2. Definició	7
2.3. Història al Segle XX	7-8
2.4. Característiques	9
2.5. Principals Elements	9-18
2.5.1. <i>Dades</i>	9-10
2.5.2. <i>Algorismes</i>	10-16
a) Aprenentatge Supervisat	10-14
b) Aprenentatge no Supervisat	14-15
c) Aprenentatge per Reforç	16-17
2.5.3. <i>Hardware</i>	17
2.5.4. <i>Llenguatge de Programació</i>	18-19
2.5.5. <i>Plataformes</i>	19
2.5.6. <i>Experts</i>	19
2.6. Creació de Model	20-22
2.6.1. <i>Entrenament</i>	20
2.6.2. <i>Optimització</i>	20
2.6.3. <i>Avaluació</i>	21-22
2.7. Avantatges i Inconvenients	23-25
2.7.1. Avantatges	23-24
2.7.2. Inconvenients	24-25

3. ESTUDI DEL POSSIBLE IMPACTE DE LA IA EN LA MOBILITAT URBANA I EMISSIONS	26-34
3.1. Introducció	26
3.2. Beneficis i Inconvenients de la IA per a la problemàtica	26
3.2.1. <i>Beneficis</i>	26-28
3.2.2. <i>Inconvenients</i>	28-30
3.3. Grau de Maduresa de la IA	30-31
3.4. Impacte de la IA en diversos entorns sobre la problemàtica	31-34
4. ESTUDI DE L'OPERATIVA DE CREACIÓ DE DADES DE TRÀFIC I EMISSIONS	35-68
4.1. Introducció	35
4.2. Situació actual	35-37
4.3. Fonts d'informació	37-38
4.4. Elements analitzats	38-68
4.4.1. <i>Vies públiques de trànsit</i>	38-39
4.4.2. <i>Dades de trànsit de l'estudi</i>	40-52
a) Dades recol·lectades	40-41
b) Per què es recol·lecten aquestes dades?	42
c) Normatives a seguir	42
d) Tipus de tractament	43-48
e) Solucions Tecnològiques	49-52
4.4.3. <i>Vies públiques de trànsit</i>	52-61
a) Emissions CO ₂	54-56
b) Emissions NO _x	56-59
c) Partícules PM ₁₀ i PM _{2.5}	59-61
4.4.4. <i>Vies públiques de trànsit</i>	61-68
a) Dades recol·lectades	62-63
b) Per què es recol·lecten aquestes dades?	63-64
c) Normatives a seguir	64
d) Tipus de tractament	65-66
e) Solucions Tecnològiques	66-68

5. REALITZACIÓ DEL PROTOTIP D'IA	69-89
5.1. Introducció	69
5.2. Que sortida d'informació ha de donar la IA?	69
5.3. Tractament de les dades de trànsit	69-71
5.4. Construcció del Model de Predicció	71-88
5.4.1. Esquema d'algorismes	72
5.4.2. Entorn del model	72-74
a) Plataforma o eines de desenvolupament?	72-73
b) Elecció de l'entorn i les seves característiques	74
5.4.3. Entrenament	75-88
a) Importació de les dades	75
b) Transformació de les dades	76
c) Partició de les dades	76-77
d) Ajustament i Predicció	77
e) Avaluació de l'Entrenament i Testing	78-79
f) Optimització del Model	79-83
g) Avaluació final dels models optimitzats	83-86
h) Elecció final de l'algorisme per al model	86-88
5.5. Estimacions de les dades de l'any 2020	88-89
6. ESTIMACIÓ I ESTUDI D'EMISSIONS	90-106
6.1. Tractament de les dades d'emissions	90-96
6.1.1. Eliminació de columnes	90-91
6.1.2. Neteja de dades	91-92
6.1.3. Conversió de dades	92-95
a) Canvis en les etiquetes de Combustible	92-93
b) Dades CO ₂	93
c) Dades NO _x	94
d) Dades dels vehicles GLP i GNC	94
e) Dades NO _x amb la norma RDE	95
6.1.4. Addició de columnes	96
6.2. Dades del parc automobilístic a Catalunya	96-100
6.2.1. Número de vehicles totals segons tipus de vehicles	97
6.2.2. Número de turismes per distintiu ambiental	97-98

6.2.3. <i>Número de turismes per combustible</i>	98
6.2.4. <i>Número de turismes per cilindrada</i>	98-99
6.2.5. <i>Quadre de final de turismes segons distintiu, combustible i cilindrada</i>	99-100
6.3. Càlcul de les emissions	100-105
6.3.1. <i>Emissions mitjanes segons diverses variables</i>	101-103
6.3.2. <i>Emissions mitjanes unificades</i>	103-106
7. OBJECTE D'ESTUDI	107-110
7.1. Emissions CO ₂ i les seves variacions	109
7.2. Emissions NO _x i les seves variacions	109
7.3. Emissions NO _x RDE i les seves variacions	110
7.4. Emissions PM i les seves variacions	110
8. CONCLUSIONS	111-114
8.1. Conclusions sobre el Prototip d'IA	111-112
8.2. Conclusions sobre resultats d'emissions	113
8.3. Conclusions sobre l'objecte d'estudi	114
9. MILLORES FUTURES	115-117
9.1. Millores sobre el Prototip d'IA	115-116
9.2. Millores sobre resultats d'emissions	116
9.3. Millores sobre l'objecte d'estudi	117
BIBLIOGRAFIA	118-124

ABREVIACIONS DEL TREBALL

IA	Intel·ligència Artificial
ML	Machine Learning
CIVICAT	Centre d'Informació Viària de Catalunya
GPU	Processador d'Unitat Gràfica
CPU	Processador d'Unitat Central
CO ₂	Diòxid de Carboni
ZBE	Zona de Baixes Emissions
COVID-19	Coronavirus SARS-CoV-2
GEI	Gasos amb Efecte d'Hivernacle
DGT	Direcció General de Tràfic
NO _x	Òxids de Nitrogen
PM	Partícules en Suspensió
SCT	Servei Català de Trànsit
VCA	Vehicle Certification Agency of United Kingdom
WLTP	World Harmonised Light Vehicles Test Procedure
RDE	Real Driving Emissions
NEDC	New European Driving Cycle
BBDD	Base de Dades
ETD	Estació Recol·lectora de Dades
ERU	Estació Remota Universal
CC	Centre de Control
SGBD	Sistema Gestor de Base de Dades
PEMS	Equips Portàtils de Mesura d'Emissions
GLP	Gas Liquefiet de Petrol
GNC	Gas Natural Comprimat

1 INTRODUCCIÓ

El present treball, ESTUDI AMB INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL DE LA RELACIÓ ENTRE LES EMISSIONS I EL TRÀFIC DE VEHICLES EN ELS ACCESSOS A BARCELONA, vol indagar i aprofundir en la tecnologia de la Intel·ligència Artificial (IA) i conèixer quines aplicacions es poden implementar per a millorar la predicció i donar solucions per a reduir el tràfic en els accessos a Barcelona i en conseqüència, les seves emissions.

1.1 Descripció del Treball:

En aquest treball volem descobrir les possibilitats que ofereix la introducció de la IA en l'àmbit de la mobilitat urbana i el medi ambient. Per a l'aplicació d'una IA hem de conèixer amb més profunditat quins elements són fonamentals per a l'execució d'aquesta com són: Machine Learning (ML), Big Data, Deep Learning i de més. L'agrupació de tots aquests conceptes ens poden donar lloc a un nou model per a realitzar prediccions de tràfic i d'emissions.

1.2 Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball és millorar la predicció i proposar solucions que ajudin a reduir les emissions i nivell d'intensitat de vehicles en els accessos a Barcelona mitjançant la introducció de la IA. Per aconseguir aquests objectius s'han considerat les següents tasques:

- Investigar sobre la creació d'una IA.
- Identificar aquells processos i agents necessaris per a la IA.
- Conèixer els principals tipus d'ús que pot tenir una IA.
- Estudiar el problema d'emissions i tràfic de vehicles a la ciutat de Barcelona i els seus accessos.
- Determinar els avantatges i inconvenients que té la implantació d'aquesta Tecnologia per als Stakeholders d'aquest problema.
- Avaluar quin tipus d'impacte social-cultural, mediambiental, econòmic, tecnològic, polític i legal suposaria la IA en aquest problema.
- Conèixer el grau de maduresa de la tecnologia.
- Desenvolupar un prototip d'IA de predicció per a emissions i tràfic.
- Extreure les conclusions sobre el prototip.

- Detectar quines solucions podríem donar per a solucionar els problemes.
- Determinar el moment adequat de l'ús d'IA en la mobilitat urbana i el medi ambient

1.3 Estat de l'Art

Abans d'investigar més a fons, coneixerem casos precedents d'aquesta tecnologia aplicada per a millorar el nivell de tràfic de vehicles i d'emissions en les ciutats.

Existeixen precedents d'IA, sistemes neuronals, software analítics aplicats per a obtenir una gestió del tràfic predictiu i més dinàmic, per a oferir un tràfic més fluid, que repercutiria en menys emissions de contaminació, menys contaminació acústica, comportaments menys agressius al volant. [1]

Per donar uns exemples reals d'aplicació de la IA en l'entorn de gestió del tràfic:

- En la ciutat de Bengaluru, Índia, famosa pel seu infernal i dens tràfic, s'ha començat a prendre mesures per a minimitzar aquest problema. S'ha començat amb un programa consistent en la instal·lació d'unitats d'IA, per a convertir els senyals de trànsit, en senyals adaptatius. Aquestes unitats calculen, avaluen i estableixen comunicacions amb altres senyals automàticament. Calculen la densitat de vehicles i comunicarà els detalls a la unitat de processament central, que tindrà la decisió d'establir el temps necessari en cada pas. Amb aquestes mesures es pretén estalviar combustible quan els vehicles es troben aturats i donar el moment exacte quan poden tornar a circular. [2]
- També des de fa uns anys a la ciutat de Pittsburgh, Estats Units d'Amèrica (EUA), ha sorgit un sistema de control de tràfic adaptable, desenvolupat per investigadors i robòtics del Carnegie Mellon University, anomenat Surtrac. Aquesta tecnologia ha permès reduir el temps d'espera en les interseccions en fins a un 40 %, reduir el temps de viatge en un 25 % i les emissions dels vehicles s'ha reduït en fins un 20%. En aquest projecte, Surtrac investiga treballs relacionats amb la presa de decisions de múltiples agents, i utilitza aquesta investigació i l'aplica als semàfors per a controlar el tràfic, i amb això suposant un gran impacte en el temps de viatge dels ciutadans i les emissions. [3]

Per aquesta solució, Surtrac coordina la comunicació entre els senyals per a poder canviar els llums dels semàfors basant-se en les condicions de tràfic. Prèviament per identificar els vianants, vehicles, bicicletes, es necessiten càmeres amb capacitat de distingir-los, calcular les distàncies entre aquests i més. Posteriorment es transformen les imatges processades i el sistema planifica el model de moviment dels viatgers i el va optimitzant segon a segon. Després la planificació és comunicada als senyals de tràfic més properes, per indicar-li el flux de tràfic que hi tindrà en breus moments. (Figura 1)

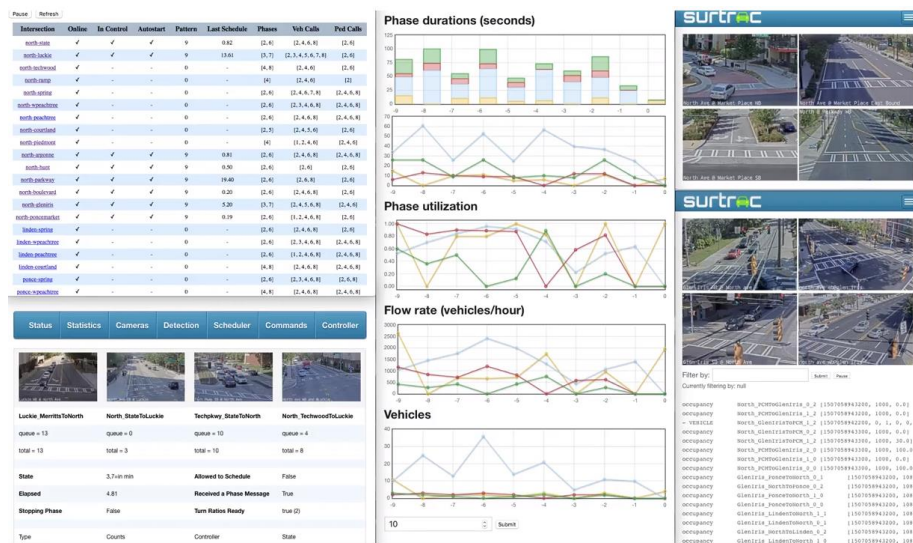


Figura 1: Representació de la plataforma de Gestió de Surtrac

Font: Elaborat per Surtrac

El sistema té uns paràmetres de comportament preestablerts on els models han de permetre que els vianants no parin, permetent duracions d'aturada als semàfors molt variables, una gestió del tràfic més dinàmic, on hi ha un especial èmfasi en aquells fluxos de tràfic dominants per sobre dels individuals. [4]

- Un altre exemple és, la companyia Advantech que ha desenvolupat el seu propi sistema de control de tràfic amb IA que amb ajudes de càmeres i del processament de les imatges en streaming, permet distingir qualsevol tipus de vehicle que aparegui en les imatges.

També, permet compatibilitzar de millor manera en comparació als sensors ultrasònics, infrarojos que no aporten aquestes dades gràfiques. [5] (Figura 2)



Figura 2: Classificació i Compte dels vehicles mitjançant imatges

Font: Elaborat per Advantech

- I per últim exposarem també un projecte amb IA amb el suport del govern del Regne Unit. El projecte va ser realitzat per l'empresa Vivacity Labs i consistia en el desplegament de senyals intel·ligents en semàfors en la localitat de Milton Keynes. Aquest projecte suposa una gran quantitat d'informació, com la capacitat d'identificar i classificar a tots els vehicles i usuaris de la carretera amb les càmeres intel·ligents. (Figura 3) Coneixent, el lloc i moment en què les autopistes s'omplien per realitzar prediccions per a millorar el seu tràfic. Aquestes dades s'utilitzen per a un model d'aprenentatge automàtic que aprèn patrons diaris i té en compte els canvis que hi ha en el tràfic i evoluciona i millora la capacitat de predicció del model, minimitzant la intervenció humana.

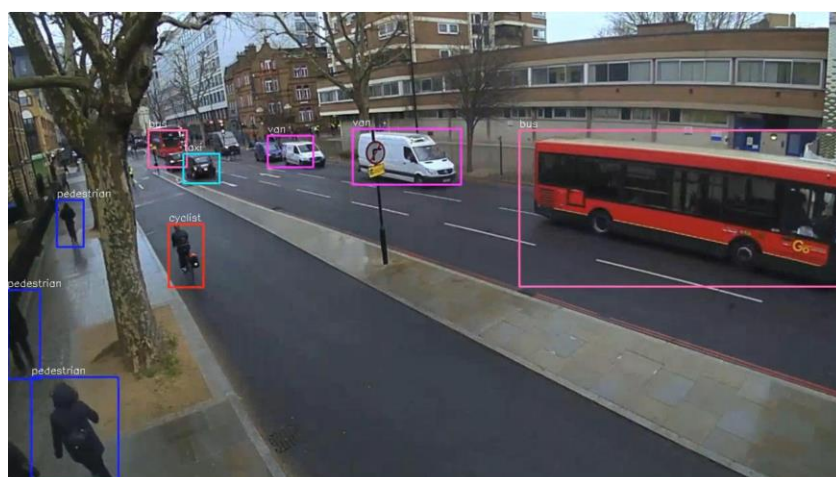


Figura 3: Classificació dels vehicles i usuaris mitjançant imatges

Font: Elaborat per Vivacity Labs

El sistema té capacitat per a poder realitzar prediccions del tràfic amb 15 minuts d'anticipació amb un 89 % de precisió en comparació amb la realitat.

Aquestes dades permeten ajudar als ciutadans respecte a la disponibilitat d'espai d'estacionament en temps real, i per tant ajudant en la decisió d'utilitzar el vehicle o no. (Figura 4)

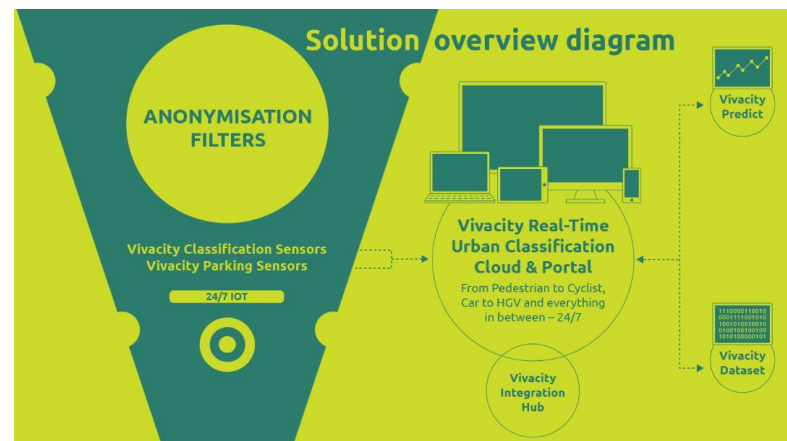


Figura 4: Diagrama de funcionament de la solució de Vivacity Labs

Font: Elaborat per VivacityLabs.com

1.4 Motivació

La motivació de la realització d'aquesta recerca és el de conèixer i profunditzar més en el rellevant món de la IA, ja que sempre m'ha semblat interessant el fet de poder utilitzar aquesta tecnologia, per a conèixer nous problemes i donar solucions a aquests problemes. Hi ha encara molts sectors i àmbits on no s'ha aplicat aquesta tecnologia i m'agradaria saber tot el que envolta i es necessita per al seu funcionament. En aquest cas, la meua motivació és causada pel meu passat com a treballador en el Centre d'Informació Viària de Catalunya (CIVICAT) on veia la quantitat d'informació de trànsit desaproveitada, vull esbrinar com aquesta tecnologia pot aprofitar aquestes dades i canviar la mobilitat en el futur.

1.5 Estructura de la Memòria

Aquest treball està dividit en 4 parts fonamentals:

- Història i Estudi de la Intel·ligència Artificial
 - Conèixer el concepte, el que significa una IA i la seva evolució al llarg dels anys.

- Investigar i conèixer quins elements són necessaris per al desenvolupament i consecució d'una IA.
- Investigar el procés de creació, conèixer la relació entre els agents participants d'aquesta tecnologia.
- Definir quins avantatges i inconvenients comporten la posada en marxa d'aquest tipus de tecnologia.
- Estudi del possible impacte de la IA en la mobilitat urbana i emissions
 - Investigar quins beneficis i inconvenients aportaria una IA en el sector de la mobilitat urbana pel que fa a tràfic i emissions.
 - Conèixer, estudiar quin és el grau de maduresa de la tecnologia, a partir de conèixer sobre la tecnologia i la seva aplicació en altres àmbits diferents del sector de la mobilitat urbana.
 - Determinar l'impacte social-cultural, mediambiental, econòmic, tecnològic, polític i legal que suposaria la IA en aquest problema.
- Estudi de l'operativa de creació de dades de tràfic i emissions
 - Investigar quina operativa back-office hi ha al darrere de diferents entitats per a l'obtenció de dades d'intensitat de tràfic i emissions a la ciutat de Barcelona, com realitzen la recol·lecta de dades, la normativa a seguir, ...
 - Conèixer quines dades es recopilen, i el motiu.
 - Conèixer el tipus de tractament que es realitzen a les dades.
 - Conèixer les solucions tecnològiques, i el motiu de la seva utilització.
- Realització d'un prototip d'Intel·ligència Artificial
 - Al tenir ja totes les dades i nocions, començar a realitzar un esquema sobre les tècniques d'IA idonis per al problema a resoldre.
 - Construir i entrenar un algorisme per a poder realitzar prediccions d'intensitat de vehicles i nivell d'emissions futurs.
 - Optimitzar l'algorisme i obtenir coneixements pràctics dels agents necessaris per a la IA.
 - Posar en pràctica la IA i obtenir unes conclusions entorn del prototip.
 - Determinar possibles solucions a la problemàtica.
 - Determinar si és el Moment Adequat per implementar aquesta tecnologia en aquesta problemàtica ressaltant els factors que ho determinen.

2 INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL

2.1 Introducció

La Intel·ligència Artificial és el conjunt de pràctiques científiques, tecnològiques que vol imitar el comportament i la intel·ligència dels humans incorporant softwares intel·ligents per a elements tecnològics com: robots, ordinadors, mòbils, productes tecnològics ...

2.2 Definició

La primera definició als anys 50 de John McCarthy, és la de “*La ciència i enginyeria de realitzar màquines intel·ligents*”. [6]

Actualment parlem de “*L’Estudi i Disseny d’Agents Intel·ligents*”, on l’Agent Intel·ligent, és el sistema que percep l’entorn i pren decisions per maximitzar les possibilitats d’èxit. Per a aconseguir aquest èxit es fa servir eines de l’àmbit de: computació, psicologia, filosofia, neurociència, matemàtiques, optimització, lògica i de manera recent: robòtica, sistemes de control, mineria de dades, logística, reconeixement de veu, reconeixement facial, ...

2.3 Història al Segle XX

Per a poder visionar la història de la IA d’una manera gràfica, ens fixarem en la següent línia del temps: [7] (Figura 5)

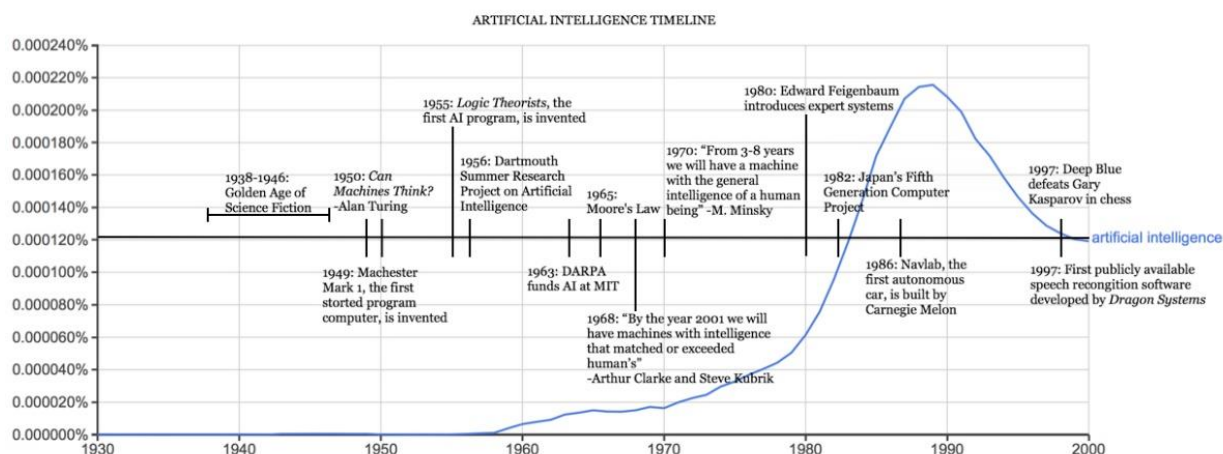


Figura 5: Línia del temps de la IA

Font: Elaborat per Science in the News de la universitat de Harvard

- En el 1950, Alan Turing escriu un article anomenat “*Computing Machinery and Intelligence*” on comença a imaginar el concepte i es pregunta “Les màquines poden pensar”. En aquest escrit Turing, parla sobre el fet que les persones utilitzen la informació per a poder donar una raó i solucionar els problemes als quals s’enfronten. I es pregunta si les màquines no podrien fer el mateix. Però amb el problema que aquests elements eren extremadament lents i només podien executar comandes sense poder desar aquestes. [8]
- En 1956 surt l’anomenat primer sistema amb comportament intel·ligent, *The Logic Theorist*, un programa capaç de demostrar un llarg nombre de teoremes dels Principis matemàtics inclosos en els llibres “*Principia Mathematica*” escrits per Bertrand Russell i Alfred Whitehead. [9]
- Fins a la dècada dels anys 70, els ordinadors augmenten la seva velocitat i capacitat d’emmagatzematge, augmenten les demostracions respecte a la resolució de problemes o la interpretació de llenguatges.

En 1963 el DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), duu a terme investigacions d’IA en moltes institucions amb l’objectiu d’una màquina que pugui transcriure i traduir diferents llenguatges.

Però els obstacles de la falta de capacitat computacional i d’emmagatzematge, van detenir l’avanç dels estudis sobre la IA. [10]

- Anys després als anys 80, Edward Feigenbaum introdueix “*Expert Systems*”, on s’utilitzen sistemes experts capaços de replicar els processos de decisió que fan servir els humans, gràcies a l’ajuda de la IA.

En 1982 el Govern Japonès aporta una inversió molt important per a la investigació sobre “*Expert Systems*” i “*Aplicacions d’Intel·ligència Artificial*”, que acaba aportant una generació de joves i talentosos enginyers i científics.

- Als anys 90 comença el pròsperament de la IA, on s’aconsegueixen molts dels objectius més emblemàtics que ha aconseguit la tecnologia, com en 1997 quan el superordinador d’IBM “*Deep Blue*” venç al mestre mundial d’escacs Gary Kasparov.

En el mateix any surt al mercat el primer software de reconeixement de veu desenvolupat per Dragon Systems per Windows, suposant el 1r software que aplica IA per al reconeixement d’una veu. [11]

2.4 Característiques

Aquesta tecnologia es compon d'unes característiques pròpies d'un concepte intel·ligent: [12]

- **Aprenentatge:** Aquest aspecte tracta el fet que s'aprèn ja sigui pel mètode d'assaig i error, on a través d'experiència no es torna a realitzar una acció, o bé aprendre a través de raonaments i càlculs previs, realitzant prediccions.
- **Raonament:** Es tracta de la comprensió de problemes, on si una possibilitat es falsa, l'altra és la correcta. En el cas de la IA aquest concepte és complicat d'aplicar, per la dificultat de dotar a l'Agent de capacitats de deducció més complexes.
- **Solució de problemes:** En aquest punt se li dona un problema a l'Agent i se li dona un objectiu i on l'Agent a través d'anàlisi, passa de l'estat inicial fins a l'objectiu especificat.
- **Percepció:** En aquesta característica es dota a la IA d'eines per a poder percebre el seu entorn, com el fet d'utilitzar sensors, càmeres, àudios i de més perquè puguin diferenciar cada element del seu entorn.
- **Comprensió de llenguatges:** Com per exemple poden ser el fet de reconèixer diversos idiomes i poder donar una resposta en aquell idioma o inclòs traduir-ho a altre idioma.

2.5 Principals Elements

Per a crear una IA des del seu inici, necessitem una sèrie d'elements que ens ajudin o que ens provoquin la utilització d'aquesta tecnologia. A l'igual que necessitem ingredients, elements per a crear un determinat plat, el mateix necessitem per a donar solució a un problema mitjançant IA. En aquest cas quan ja tenim un problema al qual hem de donar solució farem ús de diferents elements necessaris com són: [13]

2.5.1 Dades

Les dades són la provisió necessària perquè aquest tipus de tecnologia funcioni. En aquest cas, per a la IA ens proveïm de 2 tipus diferents de dades: [14]

- **Dades estructurades:** Format que proporciona consistència per al processament i analítica (Noms, Cognoms, Edat, gènere, adreça ...)

- Dades no estructurades: És tota la informació que no es troba en un format no uniforme (Àudio, Imatges, Paraules, Símbols ...)

De fet una de les característiques que distingeixen aquesta Tecnologia, és el fet de poder permetrà l'anàlisi de dades no estructurades podent accedir a molta més informació que la disponible amb les estructurades.

Quan ja disposem de les dades s'ha de realitzar una de les parts més crucials, què és el tractament de les dades on es netegen, mouen, validen i organitzen les dades. S'ha d'assegurar que les dades siguin consistents, poder obtenir una cronologia a partir d'aquests, afegir etiquetes identificadores en cas de ser necessari per a la seva distinció, en general tot el necessari per a obtenir dades de qualitat.

2.5.2 Algorismes

Els algorismes en el camp de la IA són aquells conjunts d'operacions que es creen, dissenyen per a realitzar una sèrie de càlculs i donar respostes, solucions als problemes. Aquests algorismes es comporten i actuen de diferents maneres segons el tipus de problemes que vol solucionar i el tipus d'aprenentatge amb què es dissenya la IA.

Els problemes típics als quals s'enfronten els algorismes poden ser de:

- Classificació: Quan la resposta que es vol obtenir és una variable de distinció com pot ser "Negre o Blanc", "Positiu o Negatiu", classificar les dades.
- Regressió: Quan la resposta que es vol obtenir és un valor real estimat o una quantitat, com pot ser beneficis, pèrdues, un valor real.

Amb aquesta informació parlarem sobre els tipus d'Aprenentatge i quins algorismes i problemes poden solucionar:

a) Aprenentatge Supervisat

En l'Aprenentatge supervisat, l'objectiu de resoldre el problema és obtenir una predicció a partir d'unes dades amb etiquetes que han estat introduïdes prèviament en l'inici del procés. [15]

En l'inici d'aquest tipus d'aprenentatge, s'entrena o ensenya l'algorisme amb unes dades que contenen la resposta correcta en el seu contingut. A mesura que segueix l'entrenament d'aquest, s'eliminen les etiquetes de resposta correcta utilitzades prèviament i es deixa que la IA ens doni una resposta predictiva sobre el problema que ha de resoldre a partir del seu entrenament i experiència adquirida durant aquest.

Es poden utilitzar algorismes com:

- **Regressió Lineal:** La regressió lineal ens permet dibuixar una recta amb el qual esbrinar una tendència i poder estimar una quantitat. [16] (Figura 6)

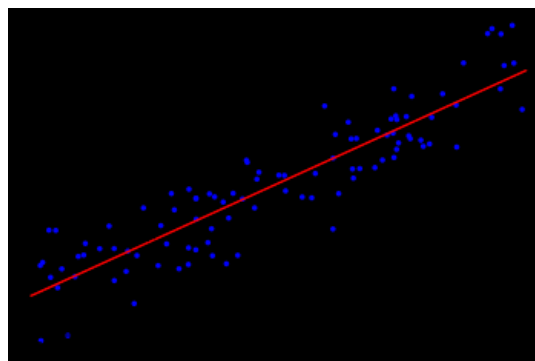


Figura 6: Gràfica de Regressió Lineal

Font: Elaborat per Wikipedia

- **Regressió Logística:** La regressió logística permet predir si una variable pot pertànyer a una categoria o altra, com “Blanc o Negre”. [17] (Figura 7)

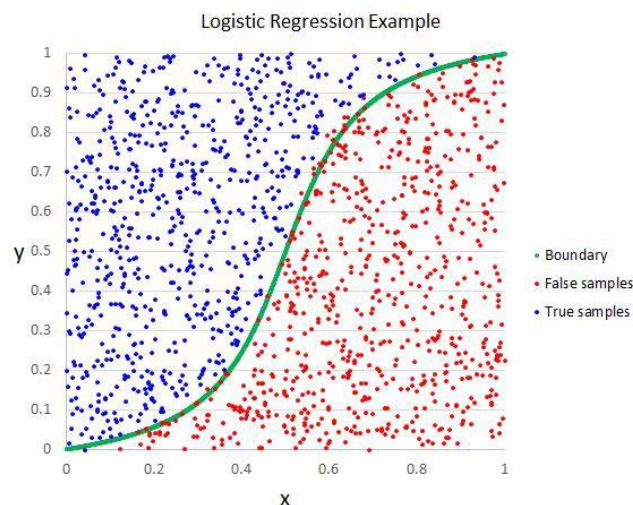


Figura 7: Gràfica de Regressió Logística

Font: Elaborat per datasciencecentral.com

- Màquines de Vectors Suport: Aquest algorisme ens ajuda a resoldre problemes, ja sigui de tipus de classificació com de regressió. Amb l'entrenament, l'algorisme genera un hiperplà òptim que classificarà els exemples a resoldre en diferents dimensions amb una línia en el pla. [18] (Figura 8)

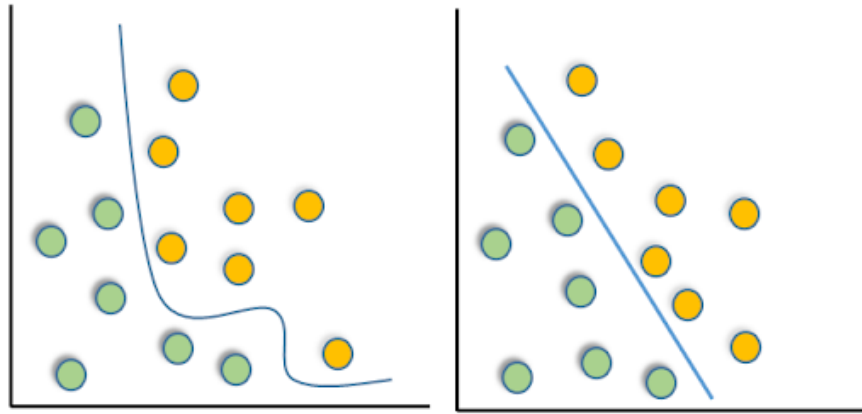


Figura 8: Gràfica de Màquines de Vectors Suport

Font: Elaborat per numerentur.org

- Naive Bayes: Aquest algorisme és un dels classificadors més utilitzats per la senzillesa i rapidesa per a ser aplicada. És una tècnica de classificació i predicció que construeix models predictius de possibles resultats i gràcies al Teorema de Bayes, dóna resultats predictius d'acord amb la probabilitat que té el resultat. Analitza de manera independent les dependències entre les condicions i dóna la funció de probabilitat conjunta de totes les probabilitats diferents. [19] (Figura 9)

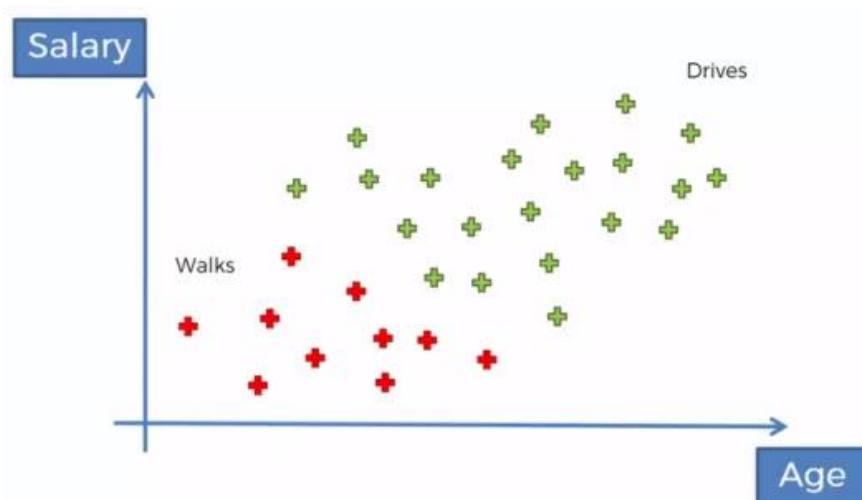


Figura 9: Gràfica de Naive Bayes

Font: Elaborat per jacobsoft.com.mx

- **K-Veïns més pròxims:** Serveix en especial per a classificar valors a partir dels punts de dades K més pròxims i similars adquirits en l'entrenament. Quan s'obtenen els diferents punts K , es realitza un recompte dels diferents punts K i es defineix el resultat final com el valor K més repetit. [20] (Figura 10)

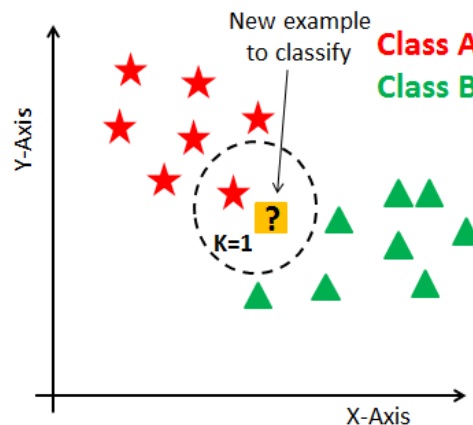


Figura 10: Gràfica de K-Veïns més pròxims

Font: Elaborat per datacamp.com

- **Boscós Aleatoris:** Aquest algorisme es basa en els arbres de decisió per a diverses mides d'un conjunt de dades, utilitzant la mitjana per millorar la predicció i ajustar-lo. Primer, cada arbre es basa en una mostra aleatòria partint de les dades originals i en segon lloc, per a cada node d'arbre es seleccionen aleatòriament un subconjunt de funcions, per generar la millor divisió. Pot donar solucions a problemes de Classificació o Regressió. [21] (Figura 11)

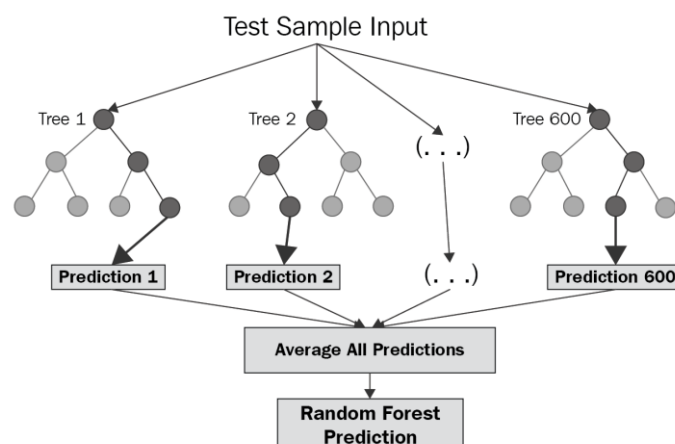


Figura 11: Gràfica d'un esquema de Boscós Aleatoris

Font: Elaborat per towardsdatascience.com

- **Potenciació de Gradient:** Aquest algorisme es basa també en els arbres de decisió per a diverses mides d'un conjunt de dades, però utilitzat de diferent manera. Mentre si en el cas anterior l'algorisme entrena tots els arbres de manera independent, en aquest algorisme es busca minimitzar la pèrdua, calculant els residuals de cada arbre de decisió per incorporar-ho en el següent arbre i així millorar progressivament la predicció a mesura que afegim més arbres. Pot donar solucions a problemes de Classificació o Regressió. [22] (Figura 12)

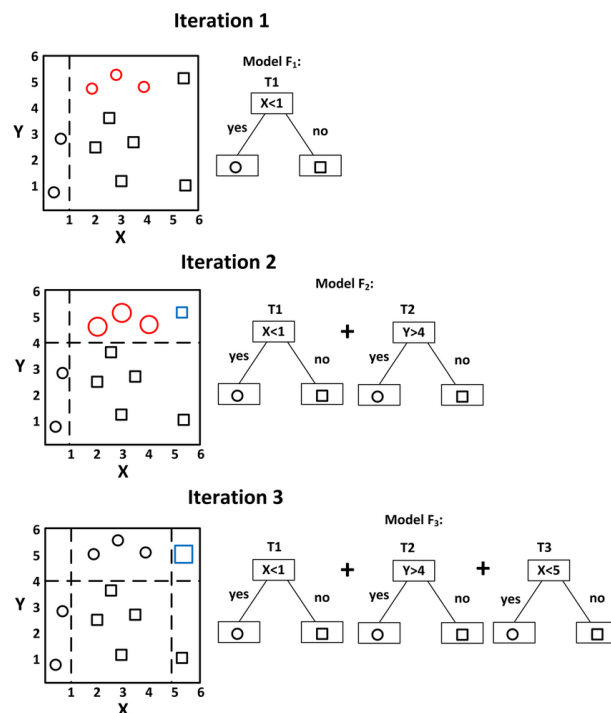


Figura 12: Gràfica d'un esquema de Potenciació de Gradient

Font: Elaborat per researchgate.net

b) Aprenentatge no Supervisat

En l'Aprenentatge no Supervisat, l'objectiu de resoldre el problema és obtenir una predicció a partir d'unes dades sense etiquetes que han estat introduïdes prèviament i per tant l'algorisme no coneix la representació o el que signifiquen aquestes dades introduïdes. La tasca d'aprenentatge és descriure l'organització de les dades, possibles patrons o associacions per a poder entendre d'una millor manera el conjunt de dades. Aquest tipus d'Aprenentatge s'utilitza molt sovint en aquelles situacions on els humans, no poden observar res rellevant de les dades.

Per a resoldre aquests tipus de problemes, es poden utilitzar algorismes com:

- **K-Means:** Aquest algorisme és un mètode per agrupar, que té com a objectiu, partir un conjunt de n observacions en k grups a partir de les seves característiques, on cada observació es classifica en el grup més proper a la mitjana. Aquest algorisme resol problemes d'optimització, on la suma de les distàncies quadràtiques de cada objecte respecte al centre del seu grup, és la funció que s'ha d'optimitzar. [23] (Figura 13)

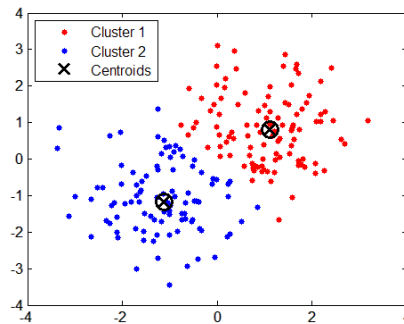


Figura 13: Gràfica de K-Means

Font: Elaborat per mathworks.com

- **Xarxes Neuronals:** Aquest algorisme es basa en el funcionament de les neurones humanes, creant capes d'entrada i sortida d'informació amb el qual obtenir neurones artificials. A cada neurona se li assigna una importància amb uns llindars establerts, i a mesura que s'activen, s'obtenen uns valors de sortida que s'enllaçaren amb la informació de les altres neurones. La informació pot anar en una direcció d'entrada a sortida (*feedforward*) o bé les informacions poden anar enrere i traslladar l'error a la resta de neurones (*backpropagation*), podent desenvolupar una memòria a través de les capes. Pot donar solucions a problemes de Classificació o Regressió, sigui supervisant o autocorregint els seus valors per a millorar el model sense supervisió. [24] (Figura 14)

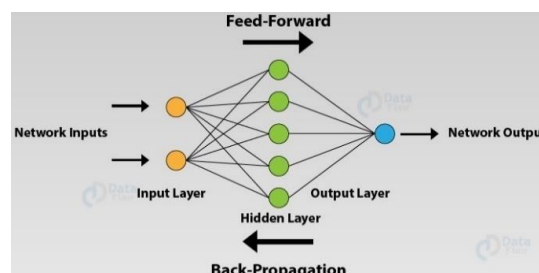


Figura 14: Gràfica d'un esquema de Xarxa Neuronal

Font: Elaborat per towardsdatascience.com

c) Aprenentatge per Reforç

En l'Aprenentatge per Reforç, l'algorisme aprèn de la interacció amb el seu voltant. La informació d'entrada, l'entrada de dades és el feedback o retroalimentació que s'obté del món exterior com resposta a les seves accions. El sistema aprèn de les seves experiències amb el seu entorn i per tant interpreta tots els possibles estats, respostes que hi poden existir. És un aprenentatge d'*assaig-error*.

Els algorismes d'aquests tipus d'aprenentatge són anomenats "*Agents*" i aquests determinen de manera automatitzada la situació ideal en un entorn específic, buscant sempre el màxim rendiment, eficiència.

Alguns dels algorismes més utilitzats amb aquest tipus d'aprenentatge són:

- Q-Learning: Aquest algorisme necessita que l'agent assigni valors a dos variables, estat-acció, que formen un par. Aquests conformem Q i en aquest cas, la funció Q resultant s'aproxima directament a Q^* , que seria la funció òptima. L'únic requisit que s'ha de complir per a garantir que l'algorisme funciona de manera correcta, és que tots els pars, estat-acció, han de ser actualitzats de manera contínua. [25] (Figura 15)

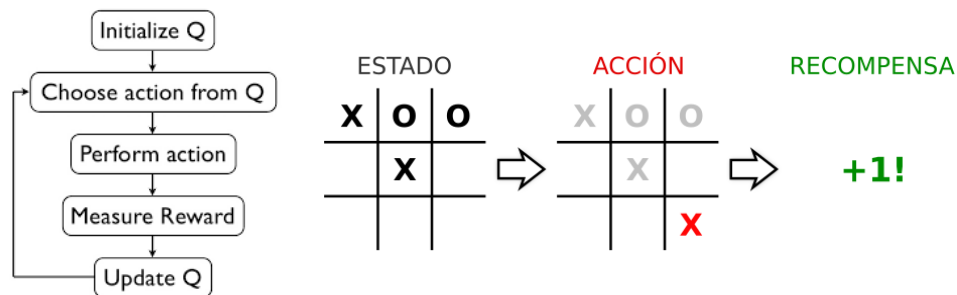


Figura 15: Gràfica de Q-Learning

Font: Elaborat per rubenlopezg.wordpress.com

- Xarxa Generativa Antagònica: En aquest algorisme ens trobem amb 2 xarxes neuronals que competeixen entre si en un joc. I amb l'ajuda de l'entrenament, aquesta tècnica pot generar noves dades amb les mateixes estadístiques que trobava en l'entrenament. En aquest algorisme una xarxa neuronal és la xarxa generativa i l'altre és la què s'ha de discriminar, i en aquest estat, la xarxa generativa entrena en funció de si enganya a l'altra xarxa. [26] (Figura 16)

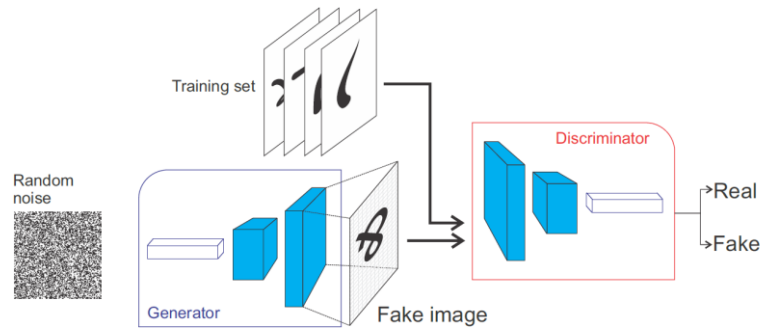


Figura 16: Gràfica de Xarxa Generativa Antagònica

Font: Elaborat per oreilly.com

2.5.3 Hardware

Un dels grans impediments que la IA hagi arribat més tard de l'esperat, és el fet que en el passat la capacitat computacional encara era molt limitada, i a unes necessitats molt altes tant de cost, espai, ja que les màquines eren molt grans i amb sistemes operatius encara no optimitzats.

Avui en dia, la tecnologia i sobretot el sector del Hardware ha patit un creixement exponencial, molt gran que s'ha traduït en una millora de la capacitat computacional de les màquines, amb costos més baixos que en el passat, espais més reduïts i sistemes operatius i aplicacions de software optimitzats per aprofitar al màxim la capacitat computacional. Els entrenaments necessiten una gran capacitat computacional i per tant el Hardware és un element molt important a l'hora de reduir el temps de l'entrenament de les IA. Un paper clau, actualment la tenen les GPU (Processadors Gràfics) i el Cloud Computing. [27]

- GPU: Actualment els Processadors Gràfics poden tenir rendiments molt superiors al referent als processadors CPU (Processadors d'unitat central). A més d'aquest rendiment molt superior, la capacitat multitasca d'aquests GPU, permet executar les funcions aritmètiques comunes en IA de manera eficient i ràpida.
- Cloud Computing: En l'actualitat s'està unificant la IA amb aquesta tecnologia, per a maximitzar l'eficiència computacional depenent de la quantitat de dades que es vulgui tractar en cada moment. El Cloud Computing ens permetrà ser més eficients i ràpids per a l'entrenament.

2.5.4 Llenguatge de Programació

Els llenguatges de programació més moderns que són capaços de construir aplicacions de software per a molts propòsits i diferents, han adquirit importància absoluta per a poder desenvolupar software destinat a la IA. Però els llenguatges del passat també poden fer-se servir, perquè molts llenguatges s'utilitzen per a moltes plataformes i tipus de tecnologies i encara estan molt presents en les grans empreses.

Els llenguatges moderns a tenir en compte per al desenvolupament de les IA són:

- Python: Llenguatge molt senzill, fàcil d'entendre i aprendre, amb una extensa quantitat de llibreries dedicades a la IA, a la ciència de les dades. Gràcies a aquestes característiques, la comunitat de Python ha crescut de manera imparable durant els últims anys tenint un gran èxit sobretot en el món de la IA.

Útil per al desenvolupament d'aplicacions que realitzen tasques d'IA, amb especial èmfasi ML i Deep Learning. [28] (Figura 17)

```
1  # Algorismes de verificació
2  models=[]
3  models.append(('LR', LogisticRegression()))
4  models.append(('LDA', LinearDiscriminantAnalysis()))
5  models.append(('KNN', KNeighborsClassifier()))
6  models.append(('CART', DecisionTreeClassifier()))
7  models.append(('NB', GaussianNB()))
8  models.append(('SVM', SVC()))
9
10 # Fem evaluació de cada model
11 resultats=[]
12 noms=[]
13 for nom, model in models:
14     kfold= model_selection.KFold(n_splits=10, random_state=seed)
15     cv_resultats= model_selection.cross_val_score(model, X_train, Y_train, cv=kfold)
16     resultats.append(cv_resultats)
17     noms.append(nom)
18     missatge="%s: %f (%f)" % (nom,cv_resultats.mean()),cv_resultats.std())
19     print(missatge)
```

Figura 17: Exemple codi de Python

Font: Elaboració pròpia

- R: Llenguatge destinat al món de les ciències de les dades, com a models de Big Data, sobretot per a la seva aplicació amb fins estadístics. És un gran llenguatge molt útil per a la creació dels algorismes d'entrenament. Igual que en el cas de Python, el seu aprenentatge és més senzill degut a la gran comunitat creada al voltant del llenguatge R i de les seves nombroses llibreries. [29] (Figura 18)

```

1 input <- mtcars[,c('mpg','disp','hp','wt')]
2
3 # Es crea el model relacional.
4 model <- lm(mpg~disp+hp+wt, data = input)
5
6 # Es mostra el model.
7 print(model)
8
9 # S'aconsegueix la intercepció i els coeficients
10 # com a elements vectorials
11 cat('# # # Els valor dels coeficients # # #', '\n')
12
13 a <- coef(model)[1]
14 print(a)
15
16 Xdisp <- coef(model)[2]
17 Xhp <- coef(model)[3]
18 Xwt <- coef(model)[4]
19
20 print (Xdisp)
21 print (Xhp)
22 print (Xwt)

```

Figura 18: Exemple codi de R Language

Font: Elaboració pròpia

També mencionem llenguatges de programació més expandits com poden ser Java, Javascript o C++, fortament aplicades per al desenvolupament d'aplicacions, que poden ser utilitzades per a desenvolupar algorismes, models d'entrenament, però no té la senzillesa i extenses llibreries de les quals disposen Python en especial o el llenguatge R.

2.5.5 Plataformes:

Companyes com Microsoft, Google, Amazon Web Services han decidit apostar fort per la IA, i han creat diverses plataformes amb software, destinades a la utilització de les rames de ML o Deep Learning. Amb elles es poden realitzar models d'aprenentatge ràpids i personalitzats amb un gran tractament previ de les dades i amb el qual posar en marxa de manera més ràpida i eficient les IA. Microsoft Azure, Google AI Platform, Amazon SageMaker són exemples de plataformes, on trobem tecnologies *Cloud*, amb un Software optimitzat i dissenyat per a extreure el màxim rendiment del Hardware a utilitzar amb garanties, i la facilitat de crear una IA des del seu inici. [30]

2.5.6 Experts:

Com a motiu de la relativa modernitat del nou boom de la IA, existeixen un reduït nombre d'experts contrastats en aquesta tecnologia. La rellevància i impacte d'aquesta tecnologia en les Empreses, implica que aquests especialistes disposen de salaris molt alts, partint des dels 100.000 €/anuals fins a 500.000 €/anuals. El motiu és que a més de tenir una destresa elevada en el món de la programació, necessiten actituds i coneixements en àmbits diferents, com pot ser informàtica, matemàtiques, física incloent àmbits de la filosofia, on pot entrar el factor de l'ètica. [31]

2.6 Creació del Model

A l'obtenir ja les dades i el tipus d'Aprenentatge que es desitja aplicar, comença la part més important on la “Màquina” comença a obtenir aquells comportaments propis dels humans, com és el pensament i la capacitat de raonar i triar la millor opció, és a dir, analitzar, realitzar prediccions i finalment resoldre els problemes gràcies al seu coneixement adquirit prèviament amb els Entrenaments.

I com si fos una persona humana, la “Màquina” realitzarà els aprenentatges d'una manera més ràpida, efectiva segons una sèrie d'elements, que tindran gran importància en els Entrenaments de les IA. [32]

2.6.1 Entrenament

Dades: Hi ha una gran diferència a l'hora d'obtenir una sèrie de resultats, si en disposem de dades prèviament tractades, amb etiquetes, què si utilitzem dades sense un tractament previ, sense etiquetes. Si realitzem un bon tractament previ d'aquestes dades, obtindrem un entrenament molt eficient i ràpid.

Per altra banda quan no coneixem el resultat final del nostre problema, no tenim etiquetes en les dades, l'entrenament pot durar una mica més del normal, ja que la IA no té un exemple de solució del problema, sinó que ha de realitzar procediments previs amb el qual obtenir una solució pròpia. [33]

2.6.2 Optimització

Després que comença l'entrenament i s'obtenen els primers resultats, comença el procés d'ajustar els paràmetres i sobretot d'automatitzar l'ajust perquè la IA modifiqui els seus paràmetres de manera independent per a optimitzar els resultats.

L'optimització i en especial l'automatització dels ajustos, permet transformacions de dades, arquitectura i modificacions de paràmetres eficients i ràpides, amb un impacte significatiu per al desenvolupament del model. Aquest fet permet que els experts dediquin menys temps en millorar els resultats, permetrà que el model arribi en producció de manera més ràpida, permetrà mantenir el rendiment en producció i també facilita l'escalabilitat, la possibilitat de crear més models optimitzats de manera exponencial. [34]

2.6.3 Avaluació

L'entrenament i l'optimització del model, ens proporciona una sèrie de resultats, prediccions, estimacions calculades. Amb el procés d'avaluació podrem conèixer la qualitat dels resultats obtinguts. Si abans en l'entrenament i en l'optimització treballàvem amb una sèrie de dades antigues i què coneixíem, per a l'avaluació utilitzarem noves dades mai introduïdes en la IA i es podran comparar els resultats. [35]

Amb l'avaluació obtenim respostes a preguntes com:

- Quant de bo està rendint el model?
- Està suficientment optimitzat el model per a posar-ho en producció?
- Un entrenament més llarg podria millorar el rendiment del model?
- El model es troba ben acurat?

Poden existir una sèrie de resultats provinents de les prediccions del model:

Primer hem de conèixer que la persona primer posa uns objectius, uns valors als quals vol arribar, i per altra banda la IA és qui a base del seu entrenament i optimització vol arribar a aquells valors establerts per la persona.

- Positius reals: La IA ha predit que una observació pertany a una classe, i realment sí pertany.
- Negatius reals: La IA ha predit que una observació no pertany a una classe, i realment no pertany.
- Falsos positius: La persona ha predit que una observació pertany a una classe, quan realment no pertany. (Error de tipus 2)
- Falsos negatius: La persona ha predit que una observació no pertany a una classe, quan realment sí pertany. (Error de tipus 1)

Amb els resultats, les mètriques ajudaren a conèixer la qualitat d'aquests. Existeixen mètriques de classificació i regressió com:

- Exactitud: Mesura la proporció de resultats reals respecte al total de casos.
- Precisió: Proporció de Positius Reals respecte a tots els resultats positius.
- Resultat F-1: És la mitjana ponderada de precisió i recuperació entre 0 i 1, on el valor perfecte de F és 1 i per tant es vol apropar el més possible a aquesta xifra.

- Àrea sota la corba (AUC): Mesura l'àrea sota la corba formada pels positius reals en l'eix Y i els falsos positius formats en l'eix X. I amb aquest fet, es compara l'àrea formada per la corba ROC. (Figura 19)

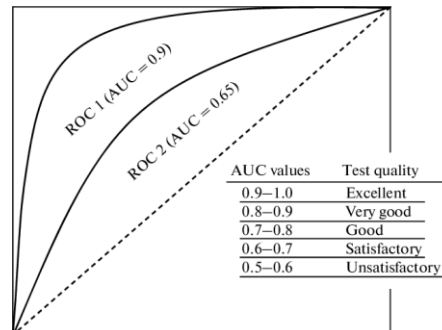


Figura 19: Gràfica de Corba AUC i ROC

Font: Elaborat per researchgate.net

- Confusió Matrix: Correlaciona l'etiqueta del resultat i la classificació realitzada pel model. Un eix seria l'etiqueta real i l'altre seria la predicció del model. (Figura 20)

		Predicted Class		
		Positive	Negative	
Actual Class	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN) Type II Error	Sensitivity $\frac{TP}{(TP + FN)}$
	Negative	False Positive (FP) Type I Error	True Negative (TN)	Specificity $\frac{TN}{(TN + FP)}$
		Precision $\frac{TP}{(TP + FP)}$	Negative Predictive Value $\frac{TN}{(TN + FN)}$	Accuracy $\frac{TP + TN}{(TP + TN + FP + FN)}$

Figura 20: Confusió Matrix i diferents paràmetres

Font: Elaborat per manisha-sirsat.blogspot.com

- Error quadràtic mig i la seva arrel: La mitjana de la diferència al quadrat entre l'objectiu i el valor predit. Permet penalitzar fins a petits errors. Mentre que la seva arrel, permet representar una penalització alta en errors grans.
- Error Absolut Mig: Diferència absoluta entre l'objectiu i el predit. És més robust per als valors atípics, totes les diferències individuals es ponderen per igual.
- Error R^2 : Compara el model amb una línia constant a base de la mitjana de les dades, indicant com de precís s'ajusta el model a aquesta línia constant. [36]

2.7 Avantatges i Inconvenients

L'arribada de la IA ha comportat un canvi important en el món i és només l'inici de que s'espera per al futur, on les imaginacions i ficcions del passat es tornaren en realitat en pocs anys, com pot ser l'arribada del vehicle autònom, cadenes de muntatge automàtiques, presa de decisions automàtiques i més.

Però l'arribada d'aquesta tecnologia suposarà grans beneficis i avantatges per a les persones, però també crearà una sèrie d'inconvenients: [37]

2.7.1 Avantatges

A continuació, s'exposen els avantatges de la IA:

- Reducció de l'error humà: els sistemes d'IA poden reduir el grau d'errors humans, per exemple: errors en conducció de vehicles.
- Augment de la productivitat: amb la capacitat funcional de les màquines, es poden realitzar accions en segons, després d'haver processat milions de dades.
- Més velocitat en la presa de decisions: les grans organitzacions i individus consideren molts factors per prendre decisions importants. En una situació en la qual les decisions importants s'han de prendre amb rapidesa, la IA pot considerar ràpidament tots aquests, ajudant a la presa de decisions.
- Reducció del cost dels béns i serveis: amb la reducció dels costos de producció, de funcionament de les empreses, redueix la necessitat de mà d'obra i per tant es poden reduir els costos dels béns i serveis.
- Ajuda en tasques repetitives: la IA pot automatitzar productivament tasques mundanes i pot eliminar tasques poc productives per als humans i alliberar-les per permetre més creativitat en les persones.
- Assistència Digital: algunes organitzacions molt avançades han creat ajudants digitals per proveir als seus clients d'ajuda i serveis, estalviant recursos humans.
- Disponibilitat 24/7: existeixen tasques que no poden parar, i la IA és un gran avantatge, ja que no necessita descansar o anar de vacances.
- Gestió de tasques de baix nivell: les tasques de baix nivell poden ser gestionades pels sistemes d'IA, permetent alliberar el temps de les persones i ser utilitzat en tasques d'alt nivell que requereixen intel·ligència humana genuïna.

- Oportunitats de guanyar diners: l'arribada d'aquesta tecnologia, permetrà múltiples noves solucions als problemes que tenen i tindran les persones en el futur.
- Transformació de l'assistència sanitària: la IA s'ha desplegat eficaçment i ha permès èxits com, descobriment de medicaments, procediments quirúrgics, exploració mèdica, anàlisi entre d'altres.
- Menys situacions perilloses per als humans: els robots amb IA es poden sotmetre a situacions perilloses en lloc dels humans com, desactivar una bomba, explorar les parts més profundes dels oceans, a l'explotació de carbó i petroli, utilització en desastres naturals o causats pels humans.
- Millora de la seguretat: la IA ha millorat la capacitat de vigilància i detecció d'accions delictives i ha contribuït a la millora de la seguretat ciutadana.
- Transformació de l'aprenentatge: amb la IA, les capacitats d'ensenyament han canviat dràsticament, podent impartir classes personals a estudiants segons la seva capacitat i característiques exclusives d'aprenentatge.
- Foment de les comunicacions entre humans: els sistemes d'IA poden traduir un llenguatge humà important a un altre, eliminant la necessitat d'intèrprets d'idiomes.
- Creació de nous llocs de treball: la IA ha permès la creació de noves rames d'estudi, nous camps i també nous llocs de treball.
- Les IA aprenen de manera autònoma: les IA tenen la capacitat de poder aprendre de les diferents situacions on es trobin i s'adapten ràpidament a qualsevol entorn.

2.7.2 Inconvenients

- Pèrdua de llocs de treballs: la IA substituirà milions de llocs de treball que actualment ocupen els humans, com conductors professionals de vehicles, persones en cadenes de muntatge ..., però què és compensada en certa manera amb la creació de nous llocs de treball per a millorar la IA.
- Risc existencial de la IA: incertesa i risc que la IA prengui la decisió d'eliminar als humans, com en films cinematogràfics.
- La IA es pot equivocar: els sistemes d'IA no són 100% fiables, i quan ha de prendre decisions crítiques i s'equivoca, poden haver-hi resultats tràgics.

- Absència d'emocions: les IA no poden substituir la connexió humana, un vincle que és un atribut essencial quan parlem de les relacions entre persones, de la formació d'equips.
- Desenvolupament costós: el cost del desenvolupament de les IA és molt alt, a pesar de la reducció dels costos dels elements necessaris.
- S'elimina la creativitat de les persones: les persones tenen la capacitat de crear qualsevol cosa a partir de 0, creant l'originalitat, però els sistemes d'IA no tenen aquella capacitat.
- Dificultat de gestionar tasques altament intel·ligents: existeixen tasques molt intel·ligents que les IA, encara no tenen la capacitat per a poder executar-les al nivell humà.
- La IA pot fer coses intel·ligents però sense donar explicacions: les persones han donat explicacions a tots els fets que han passat al llarg del temps i el documenten perquè es pugui seguir millorant, però les IA no tenen la capacitat d'explicació dels seus descobriments.
- Facilita l'augment de la destructivitat en cas de guerra: l'augment del desenvolupament de la tecnologia i de la seva intel·ligència, ha comportat productes com soldats robots, *drons* amb armes autònoms.
- Pèrdua d'habilitats: la pèrdua de treball, també permetrà la pèrdua d'habilitats i competències en les persones i augmentarà la dependència dels humans a la tecnologia.
- Les capacitats de la IA es troben limitades al seu entrenament: actualment només existeixen IA "blandes". Aquestes IA només operen en els àmbits per als quals han estat entrenats, limitant la seva capacitat d'actuació.

3 ESTUDI DEL POSSIBLE IMPACTE DE LA IA EN LA MOBILITAT URBANA I EMISSIONS

3.1 Introducció

Diversos sectors en tot el món han sofert els efectes positius i negatius de la introducció de la IA, la qual ha arribat per quedar-se definitivament en la societat i per donar serveis i solucions per a millorar la vida dels ciutadans. Però l'arribada de la IA també ha provocat efectes negatius com, la pèrdua d'empleats en diversos sectors, perquè no han pogut actualitzar-se a temps. En aquest apartat, centrarem el nostre focus en quin impacte ha suposat i podria suposar en el futur l'aparició de la IA en el sector de la mobilitat urbana i en les emissions provocades per aquest sector.

3.2 Beneficis i Inconvenients de la IA per a la problemàtica

En aquest apartat, procedirem a introduir a la IA en el sector en el què s'envolta la qüestió a la qual volem donar solució, en aquest cas la mobilitat urbana i els contaminants emesos pels vehicles. A continuació explicarem quins beneficis i inconvenients ha produït, produeix i pot produir la IA en el sector.

3.2.1 Beneficis

Gràcies a tot el que s'ha estudiat i après en aquest estudi, en el referent a la IA, podem indicar una sèrie de beneficis que pot suposar l'aparició d'aquesta tecnologia en el sector i els seus beneficis tant per conductors, vianants i també per al medi ambient. Aquests s'exposen a continuació:

- Per a la mobilitat urbana:
 - o Crear centres de tràfic completament intel·ligents, que puguin aplicar diversos criteris i plans, per a permetre el tràfic més fluid possible en qualsevol de les situacions, utilitzant sistemes com càmeres que reconeguin els diferents vianants, vehicles a les vies per a conèixer en temps real i així creant models de predicció de tràfic en temps real, per anticipar-se als possibles colls d'ampolla de tràfic a les autopistes o a la ciutat i així preparar plans alternatius per als conductors.

- Crear consciència en els ciutadans amb models predictius de tràfic i emissions, farà entendre als ciutadans dels terribles efectes que té en el medi ambient l'elevat tràfic de vehicles, i la quantitat d'emissions nocives que produeix aquest fet.
 - Tràfic més fluid amb senyals de trànsit intel·ligents, com la utilització de semàfors intel·ligents, què puguin permetre un trànsit més fluid, produint menys aturades i arrencades dels vehicles que a més de perdre temps per als conductors, significa més emissions de contaminants. Per exemple: en situacions de poc trànsit com l'actual ocasionada per la pandèmia, l'actual sistema de semàfors està obsolet, perquè no hi ha gairebé vianants i els vehicles han de quedar-se aturats esperant al semàfor verd.
 - Imposar mesures de restriccions de circulació temporals i amb càmeres de vigilància amb sistemes lectors de matrícules, podran conèixer en temps reals si un vehicle no permès està circulant, i per tant procedir a la sanció i reduint el tràfic de vehicles en temps real a la ciutat.
 - Anticipar l'augment de trànsit que hi pot haver en determinades situacions, per a reforçar i augmentar el número de transport públic disponible per als ciutadans.
- Per al medi ambient:
- Reducció del diòxid de carboni (CO₂) gràcies a models a llarg termini de predicció d'emissions, els equips de governs podem anticipar-se a aquests fenòmens i poden aplicar mesures mediambientals, per a evitar el col·lapse del planeta. Si es realitzen models de predicció, es podrà conèixer amb exactitud la quantitat de tones de CO₂ emeses pels vehicles i per tant aplicar mesures més dures ja sigui contra el lliure moviment dels vehicles o contra els fabricants de vehicles, perquè realitzin vehicles més eficients.
 - Detectar aquells vehicles que tinguin emissions excessives i impedir la lliure circulació d'aquests, per exemple: l'actual sistema de Zona de Baixes Emissions (ZBE) a Barcelona, es tracta d'una introducció d'IA, en

el que gràcies a càmeres de vigilància amb sistemes lectors de matrícules, podran conèixer en temps real si un vehicle sense permís està circulant, i per tant procedir a la sanció i reduir les emissions emeses en temps real a la ciutat.

- Si s'augmenta el reforçament del transport públic, disminuïren la quantitat de vehicles circulant a les vies, per tant reduint les emissions.
- Monitorar i predir el recorregut de vehicles elèctrics per a poder proveir de punts de càrrega a aquelles zones més circulades per vehicles elèctrics, per a poder incentivar l'ús d'aquests vehicles 0 emissions.
- Aprendre de l'experiència de la pandèmia del Coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19), on gràcies a plans de restricció de circulació, s'ha comprovat els efectes positius que té per al medi ambient la menor circulació de vehicles. Per tant podent modelar plans futurs de predicció per a conèixer en quina mesura es podrien reduir els vehicles en circulació per a donar un respir al planeta.

3.2.2 Inconvenients

També amb el que s'ha estudiat i après en aquest estudi, en el referent a la IA, podem esbrinar inconvenients que pot suposar l'aparició d'aquesta tecnologia en el sector sigui conductors, vianants o el mateix medi ambient. A continuació exposem una sèrie d'inconvenients que pot comportar:

- Per a la mobilitat urbana:
 - Amb creació de centres de tràfic completament intel·ligents, existeix la possibilitat de destrucció de llocs de treball.
 - Existeix la possibilitat que la IA pateixi algun tipus de defecte, funcionant de manera errònia i significat el caos a les vies i a la ciutat.

- Possibilitat de no explicar de manera adequada els models de predicció de gran complexitat als ciutadans, creant més dubtes que respostes sobre els problemes de la mobilitat urbana.
 - Senyals de trànsit intel·ligents que no apliquin els algoritmes i plans de manera correcta, produint tot el contrari a què es vol, com un trànsit més erràtic, més aturades, vianants disgustats que a més pot contribuir en un mal ús a l'augment dels accidents de trànsit.
 - Dependència de la IA per al control i monitoratge dels vehicles infractors, podent aquests últims enganyar el sistema amb matrícules falses i per tant amb sancions a vehicles incorrectes.
 - Possibilitat de situacions excepcionals com per exemple: la pandèmia actual, que canviï per complet les prediccions i plans de seguretat previstos, i què la IA no contempli aquest escenari durant el seu entrenament.
 - Alt cost d'inversió en els equips i personal especialitzat en IA, necessitant una partida de pressupostos de Tecnologies de la Informació i la Comunicació (TIC) elevats per part dels governs per aquesta tecnologia.
- Per al medi ambient:
- L'aplicació de mesures més dures contra el lliure moviment dels vehicles o contra els fabricants de vehicles, pot provocar polèmica entre els ciutadans per l'alt cost que suposa per aquests la compra d'un vehicle 0 emissions i pels fabricants l'alt cost de fabricar vehicles 0 emissions.
 - L'actual sistema de ZBE a la ciutat de Barcelona ja ha provocat polèmica tant per als conductors com als concessionaris, provocant l'ajornament de l'aplicació de les sancions fins a l'1 d'abril. [38] Actualment es troba suspès temporalment fins a nou avís, per l'aparició de la pandèmia COVID-19.

- La millora i reforçament del transport públic es pot veure afectat, per situacions actuals com de la COVID-19, en què es necessiten distàncies de seguretat, per tant minimitzant la capacitat d'ocupants en el transport públic i augmentant el transport privat, produint pèrdues econòmiques pels plans de reforçament ja realitzats.
- En cas d'augmentar punts de càrrega per als vehicles elèctrics, l'alt cost tant de crear un pla de predicció, per monitorar el recorregut dels vehicles elèctrics, com el de col·locar nous punts de càrrega i el preu de venda dels vehicles elèctrics, poden encara ser una barrera gran per a l'ús més intens del vehicle elèctric.
- Tot i que la pandèmia ha suposat uns grans efectes positius per a la salut del medi ambient, crear nous models d'IA podria ser més contaminant que el mateix vehicle segons alguns estudis recents. [39] Segons l'estudi del portal “*NewScientist*”, l'ús intens d'energia per part dels equips de computació per a l'entrenament de la IA, pot provocar de manera indirecta fins a 284 tones de CO₂, i per tant acabar contaminant fins a 5 vegades més que la contaminació d'un vehicle durant tota la seva vida.

3.3 Grau de Maduresa de la IA

La IA ha passat per moltes fases d'inversions econòmiques per impulsar-lo, però sempre hi existien problemes, per 4 elements bàsics per a poder a la pràctica una IA, la computació avançada, grans quantitats de dades, algorismes i personal especialitzat.

Aquests 4 elements no sempre han estat alineats, ja que la computació en el passat no era tan potent i junt amb les limitacions de les màquines, no podien emmagatzemar grans quantitats de dades. Però actualment amb la millora del hardware, s'ha augmentat de gran manera la capacitat computacional i la capacitat d'emmagatzematge.

Per tant els 4 pilars bàsics de la IA, ara es troben alineats, i en l'última dècada ha existit una fortíssima inversió en la tecnologia IA, arribant no només al món tècnic sinó també a la societat en forma de serveis i consum, per tant ja no es tracta d'un element propi dels laboratoris d'enginyeria.

S'ha realitzat una forta inversió, que significarà una recompensa d'aquesta inversió en sectors tan diversos com l'astrofísica, medicina, justícia.

Actualment hi ha diferents punts de vista en el que diversos especialistes indiquen que la IA no està sofrint un nou aturament com en èpoques anteriors, i que ara es troba en una zona d'estabilitat i de maduresa indica que la tecnologia es quedarà en la societat. [40]

Però especialistes com en Michael Wooldridge cap del departament de Ciències de Computació a la Universitat d'Oxford, comenten una situació de “*bombolla*” de la IA. Situació motivada pel comerç continu i l'accés a tota la societat d'aquesta tecnologia ha provocat què els especuladors realitzin fortes inversions i es dediquin a comerciar qualsevol producte o servei com a IA. A més els mitjans de comunicació, busquen captar tota la novetat de la tecnologia provocant un efecte no tant positiu.

Però tot i que hi ha una certa especulació, el fet de l'aparició dels vehicles elèctrics, dels vehicles autònoms que necessiten d'IA per a seguir desenvolupant-se, suposa un punt a favor que la tecnologia definitivament es quedarà en la societat. A més que el cicle es complementa amb el fet que l'ús més gran d'IA, afavoreix al desenvolupament en les tecnologies de processadors i emmagatzematge, per tant completant el cicle virtuós de la IA. [41]

3.4 Impacte de la IA en diversos entorns sobre la problemàtica

Coneixent ja possibles beneficis, inconvenients i el grau de maduresa de la tecnologia a escala global, finalment determinarem quin tipus d'impacte pot tenir segons el tipus d'entorn en què serà protagonista la IA:

- Impacte social-cultural:
 - Barcelona és el centre neuràlgic de la tecnologia a Espanya i un dels destins més atractius per al talent tecnològic, a causa de la bona qualitat de vida existent. En aquest aspecte, actualment es considera l'ecosistema tecnològic i digital, més gran al Sud d'Europa.
- Amb aquesta informació inicial, queda clar que Barcelona està realitzant grans esforços per a convertir-se en la “*Silicon Valley Europea*”, i això es

transmet a la societat “híper-connectada” barcelonesa, on la utilització de tecnologia és fonamental en les vides dels ciutadans. [42]

En aquest aspecte, referent a una introducció d’IA per a millorar el tràfic barcelonès i reduir les emissions, seria acceptat de bon grat per la gran majoria de la societat catalana. Gràcies a una Administració Digital molt avançada, la publicació d’informació de trànsit en temps real i de la qualitat de l’aire és molt consultada pels ciutadans, i una millora en aquests dos problemes serà ben acceptada per la societat.

- Impacte mediambiental:

- Barcelona ha viscut un augment de la pol·lució a la ciutat amb l’increment de vehicles en circulació i l’envelliment del parc automobilístic. A més l’emergència climàtica han provocat que l’equip de govern de Barcelona es posés en marxa, amb plans de mesures immediates per a la millora de la qualitat de l’aire a la ciutat, realitzant el *Pla Clima 2018-2030*, amb el que pretenen reduir les seves emissions. Barcelona no parà de realitzar plans de caràcter ecològic com la ZBE i d’incentivar totes aquelles idees i solucions que ajudin a millorar la salut del medi ambient. [43] En aquest aspecte, Barcelona segueix la línia dura implementada a Madrid de plans anticontaminació, per a començar a reduir les emissions de manera dràstica. Amb aquesta informació, queda clar que Barcelona està realitzant grans esforços per a convertir-se en una ciutat més verda i sobretot desitja convertir als ciutadans en els principals protagonistes als carrers envers els vehicles.

En aquest aspecte mediambiental, una introducció d’IA per a millorar el tràfic barcelonès i reduir les emissions, seria acceptat també de bon grat per la gran majoria de la societat catalana, on la gran majoria han augmentat el consum del transport públic, de vehicles alternatius per circular com bicicletes, patinets o vehicles elèctrics envers els vehicles tradicionals de combustió.

- Impacte econòmic:

- Com havíem comentat anteriorment, Barcelona és actualment una de les referències tecnològiques en l'àmbit europeu, atraient talent de totes parts del món. Actualment Barcelona està realitzant un gran esforç econòmic en convertir la tecnologia en un dels seus grans punts forts i això provoca una gran inversió. Però tot i que Barcelona vol incentivar la seva condició de ciutat *tech*, aspectes com les pressions a les empreses del segle XXI de *sharing economy* com Uber, Cabify, AirBnb, han provocat que l'economia no augmentés tant com podria haver estat amb l'entrada d'aquestes noves empreses. Per tant des del punt de vista econòmic, Barcelona busca convertir-se en una ciutat tecnològica, però d'altres ha perdut oportunitats de gran impacte econòmic d'empreses potents.

En aquest aspecte econòmic, una introducció d'IA per a millorar el tràfic barcelonès i reduir les emissions, seria acceptat de bon grat per a l'economia catalana, ja que Barcelona podria fer veure al món la seva aposta per la tecnologia i el seu interès a convertir-se en una *Smart City*, podent atraure més companyies tecnològiques i per tant tot i la necessitat d'una inversió econòmica forta, podria tenir un gran impacte per a l'economia.

- Impacte tecnològic:

- Com havíem comentat anteriorment també, Barcelona és actualment una de les referències tecnològiques en l'àmbit europeu, atraient talent i companyies tecnològiques de totes parts del món. Actualment Barcelona està realitzant un gran esforç en apostar per tecnologia en molts dels seus sectors clau per a donar un bon servei a la ciutadania. Com l'ús de la Tecnologia en l'Administració Pública, què ha aconseguit als ciutadans alliberar-se de les cues interminables i fer ús dels seus dispositius intel·ligents per a realitzar qualsevol tràmit. A més de *start-up's* innovadores, nascudes a la ciutat com la plataforma *Waynabox*, o per exemple el supercomputador més gran a Europa, el *MareNostrum*, o també la iniciativa de dades obertes *Open Data BCN*, on es poden accedir a nombroses dades públiques, per a ser aprofitades pels ciutadans.

En aquest aspecte tecnològic, una introducció d'IA per a millorar el tràfic barcelonès i reduir les emissions, seria acceptat de molt bon grau a una ciutat que vol seguir escalant llocs com a ciutat tecnològica, ja que Barcelona podria fer veure al món la seva aposta per la tecnologia i convertir-se en una Smart City. Aconseguint atraure més companyies tecnològiques disposades a utilitzar la seva tecnologia a Barcelona, afavorint per tant la competència tecnològica i alhora el desenvolupament tecnològic i la necessitat d'invertir més en tecnologia.

- Impacte polític-legal:

- Des del punt de vista polític, Barcelona i en general Catalunya, es troba immersa en una fragmentació política on no hi ha grans majories per als equips de govern respecte a l'oposició. Però ara en l'aspecte polític, la tecnologia a Barcelona està començant a obtenir molta importància per arribar al Govern, ja sigui des de la utilització de les xarxes socials, de plataformes creades per a la ciutadania, d'utilització de la Tecnologia Blockchain per a millorar la seguretat i la vida digital dels ciutadans, els equips polítics donen gran importància a la tecnologia, en aquests moments. Mentre que des del punt de vista legal, Barcelona s'ha convertit juntament amb Nova York i Amsterdam, en una de les ciutats que vol aconseguir que l'encriptació de les dades de les persones, sigui un dret humà, perquè les companyies tecnològiques no trafiquin amb les dades dels ciutadans. [44]

En aquest aspecte polític i legal, una introducció d'IA per a millorar el tràfic barcelonès i reduir les emissions, seria acceptat de bon grau per a la política catalana tot i que la inversió a realitzar per a un projecte d'IA sigui alt, podent tenir detractors en l'oposició de l'equip de govern. Aquest fet és el principal obstacle a superar en l'àmbit polític, mentre que en l'àmbit legal, pel fet que no s'exposen cap classe de dades de ciutadans es podria dir que l'arribada d'una IA per a ajudar a mesurar el tràfic i les emissions no suposaria cap canvi a escala legal per a l'estudi.

4 ESTUDI DE L'OPERATIVA DE CREACIÓ DE DADES DE TRÀFIC I EMISSIONS

4.1 Introducció

Diferents entitats públiques estatals monitoren la quantitat de vehicles que circulen al llarg dels anys a les diferents ciutats espanyoles. En aquest cas, centrarem aquest estudi en aquelles dades valuoses per a esbrinar la intensitat de vehicles en l'entrada a la ciutat de Barcelona, i conèixer tot el referent a aquestes dades, com pot ser la seva obtenció, les dades que s'obtenen.

Per altra part, diversos organismes públics i independents realitzen proves d'emissions molt acurades, amb el qual obtenen les dades d'emissions reals dels vehicles que circulen per les carreteres i juntament amb les dades dels vehicles que circulen a les autopistes, es poden obtenir diversos indicadors d'informació com: trànsit de vehicles i emissions totals diàries, emissions generades anualment, i realitzar diverses mesures per a millorar aquestes dades.

4.2 Situació actual

Tot i que és veritat que no existeix un problema extremadament greu de trànsit a Barcelona i els seus accessos, la particularitat de determinats factors climatològics com: sol gairebé constant al llarg de l'any, zona de poca precipitació al llarg de l'any i poc vent al llarg de l'any, converteixen a la ciutat de Barcelona, en un lloc molt atractiu per als turistes, però també aquests factors ajuden a fer que totes les emissions que es produeixen, es quedin en l'ambient, amb el resultat d'un ambient més contaminat.

En el cas de la ciutat Barcelona, com també totes les principals ciutats europees, té un objectiu a assolir:

- En l'any 2015, es va realitzar la Cimera del Canvi Climàtic de Nacions Unides a París, on es va arribar, després d'una negociació extremadament difícil, al compromís global: d'adoptar les mesures necessàries per a evitar que la temperatura global del planeta augmenti en 1,5 °C a llarg termini, sent necessari un nivell d'emissions neutre entre el 2030 i 2050.

Degut a aquest acord la ciutat de Barcelona, va impulsar el seu pla per a arribar a aquests objectius, *Pla Clima 2018-2030*. [45]

En aquest pla el Govern municipal de Barcelona, estableix que en l'any 2030 la ciutat ha d'haver disminuït les seves emissions de Gasos amb Efecte d'Hivernacle (GEI) per capità en un 45 % respecte al 2005 i un dels objectius serà reduir en un 20 % la mobilitat en vehicles privats de motor, i a més impulsar els vehicles elèctrics.

Existeixen una sèrie d'accions del Pla, que tindrem en compte per al nostre estudi. Aquestes són:

- Regular l'estacionament i fiscalitzar-lo per a promoure l'ús del vehicle elèctric.
- Consolidar la zona de baixes emissions com a permanent.

I en concret per a promoure l'ús del vehicle elèctric, la primera acció permanent d'aquestes accions, es produeix en aquest any 2020 amb la introducció definitiva de la ZBE.

Aquest Pla vol començar a reduir la lliure circulació dels vehicles més contaminants, donant privilegis a aquells vehicles més ecològics i amb menys emissions, classificant-los mitjançant etiquetes mediambientals. (Figura 21)



Figura 21: Distintius ambientals establerts per la DGT

Font: Elaborat per tienda.correo.es

Aquesta acció és vital en el nostre estudi, per a la reducció de la circulació de vehicles que procedeixen de fora de Barcelona, que permetrà reduir el tràfic i amb tot això de manera conseqüent reduir les emissions.

Els indicadors que la ciutat utilitzarà seran les emissions d'òxids de nitrogen (NO_x) i Partícules en suspensió (PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$) i aquest estudi vol donar valors a aquests indicadors.

A més com a factors determinants de la situació actual, hem de parlar de l'aparició de la pandèmia global de la COVID-19 que ha provocat l'aplicació de mesures molt restrictives, disminuint de manera considerable el trànsit a les vies. Per tant, el nostre estudi tindrà aquest fet molt present per als models d'anàlisi i predicció.

4.3 Fonts d'informació

Aquest apartat ajudarà a explicar d'on procedeixen les dades utilitzades per a poder realitzar el procés d'anàlisi i predicció de la part final d'aquest treball.

Tots els *datasets* referents a la intensitat de vehicles en els accessos de Barcelona, procedeixen de fonts públiques, mentre que els *datasets* referents a les emissions dels vehicles procedeixen d'organismes públics i independents britànics que tenen com a objectiu donar a conèixer les emissions reals dels vehicles dels fabricants en benefici dels ciutadans i de les seves ciutats.

En aquests casos les fonts provenen de:

- SCT (Servei Català de Trànsit): Dades d'intensitat horàries de l'Anell 0 de l'any 2019 i tots els disponibles de l'any 2020. Utilitzarem les dades de seccions o aforaments de l'anomenat Anell 0, creat i utilitzat per mesurar els accessos a Barcelona, tant d'entrada com de sortida. L'Anell 0 utilitza dades de carreteres com:
 - A-2, B-20, B-23, C-16 (Tram Tabasa)
 - C-17, C-31 Nord, C-31 Sud
 - C-32, C-33, C-58

- VCA (Vehicle Certification Agency of United Kingdom): Dades d'emissions homologades de CO₂, NO_x i PM que tenen com a bàsic obtenir dades basades en les noves normes WLTP (World Harmonised Light Vehicles Test Procedure), RDE (Real Driving Emissions) i d'anys posteriors de la norma NEDC (New European Driving Cycle). [46] La norma WLTP ha estat aprovada l'1 de setembre de 2017 i mesura el consum del vehicle i les seves emissions de CO₂ en diferents situacions de conducció, donant unes dades més realistes. Mentre que la norma RDE comença a utilitzar-se l'1 de setembre de 2017 i certificarà que els vehicles mantenen un nivell d'emissions baixes, durant condicions reals de conducció, ja que es podran mesurar les emissions contaminants en temps reals. [47]
 - Emissions CO₂ i NO_x de diversos models d'automòbils.
- Air Index: Dades d'emissions reals de CO₂ i NO_x que tenen com a bàsic obtenir dades independents i millors que els basades en les noves normes WLTP (World Harmonised Light Vehicles Test Procedure) i RDE (Real Driving Emissions). [48] La norma WLTP ha estat aprovada l'1 de setembre de 2017 i mesura el consum del vehicle i les seves emissions de CO₂ en diferents situacions de conducció, donant unes dades més realistes. Mentre que la norma RDE comença a utilitzar-se l'1 de setembre de 2017 i certificarà que els vehicles mantenen un nivell d'emissions baixes, durant condicions reals de conducció, ja que es podran mesurar les emissions contaminants en temps reals. [47]
 - Emissions CO₂ i NO_x de diversos models d'automòbils.

4.4 Elements analitzats

Aquest apartat ens permetrà conèixer quins elements seran analitzats i conèixer més en profunditat aspectes com les dades que es recol·lecten, el perquè s'utilitzarà aquestes dades, la forma de recol·lecció, normatives que es segueixen, si es realitzen algun tipus de tractament o les solucions tecnològiques que s'utilitzen.

4.4.1 Vies públiques de trànsit

Les vies públiques són els espais de domini públics destinats a la circulació de vianants, vehicles. Aquestes vies poden tenir una sèrie de característiques amb una regulació que determina la seva accessibilitat i ús. [49]

Per al nostre estudi, ens centrarem en les vies públiques destinades al trànsit de vehicles.

Per començar descriurem les vies que utilitzarem per al nostre estudi i explicarem el motiu del perquè utilitzem aquestes vies per a realitzar el treball. (Figura 22)

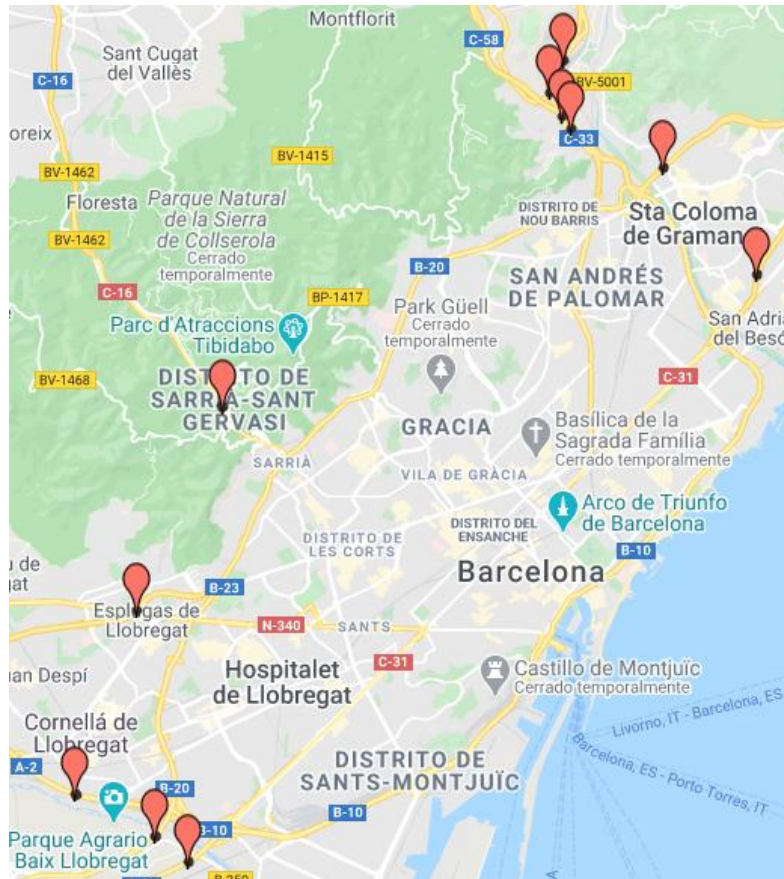


Figura 22: Mapa dels accessos a Barcelona amb els punts de mesura senyalades

Font: Elaboració pròpia a partir d'informació de SCT

- Anell 0: L'Anell 0 és l'informe utilitzat pel SCT que permet obtenir dades de referència per a analitzar la demanda de trànsit just a les entrades dels principals accessos a Barcelona. Aquestes seccions pertanyents a l'Anell 0, permeten realitzar comparatives segons les necessitats de diferents esdeveniments que poden succeir a Barcelona (Mobile World Congress, Operacions Especials, Dia sense cotxes, ZBE, o ara més recentment la pandèmia de la COVID-19). Si obtenen la circulació habitual de vehicles, poden atribuir-se possibles augments de circulació als esdeveniments a Barcelona.

4.4.2 Dades de trànsit de l'estudi

Per a parlar de les diferents variables que afecten les dades de trànsit (la intensitat de vehicles, velocitat, la quantitat d'emissions a les ciutats), parlem de la ciència de l'Enginyeria de Trànsit, que es centra en tots els elements possibles del trànsit, conductor, vianant, vehicle, via, senyalitzacions, velocitat, densitat... o en problemes com la congestió, el temps d'espera, el temps de viatge ...

Ara amb l'emergència mediambiental s'han afegit variables com el medi ambient, equitat social, valor econòmic, mètodes de transport sostenibles com a alternativa ...

A partir d'aquesta ciència, es realitzen els estudis de mobilitat urbana que donen lloc a les configuracions urbanes de les ciutats, i per on s'indiquen els indicadors adequats per a conèixer informació valuosa per a millorar la mobilitat urbana a les ciutats. [50]

a) Dades recol·lectades

El SCT, recol·lecta diverses dades relacionades amb el trànsit dels vehicles, com el nombre de vehicles, les seves velocitats, i més atributs. En aquest apartat ens centrarem en les dades proporcionades per aquest organisme públic per a la realització del nostre estudi.

En aquest primer apartat, ens trobem amb la taula de la seva Base de Dades (BBDD) que mostra les dades recol·lectades pels equips de detecció en 1h de temps. És a dir, intensitats, velocitats de vehicles en 1 hora de temps, a diferents vies i en diferents punts d'estudi, anomenats "seccions", que són definits per a realitzar diferents estudis.

A continuació agruparem les dades recol·lectades del SCT segons:

- Característiques de les seccions: (Taula 1)

Taula 1: Taula amb els atributs de les seccions i les seves característiques

CARACTERÍSTIQUES DE LES SECCIONS	
Dades atributs	Característica de dada
Codi de Secció (SECTION_CODE)	Identificador únic de la secció.
Alies (ali)	Nom utilitzat per a identificar les seccions de manera alternativa.
Via (via)	Via de trànsit a la que pertany la secció.
Punt quilomètric (pk)	Punt quilomètric on es troben els equips.
Inici del Punt quilomètric de la secció (pkSegMin)	Punt quilomètric on comença la secció.
Final del Punt quilomètric de la secció (pkSegMax)	Punt quilomètric on finalitza la secció.
Sentit Direcció (sen)	Sentit en el què circulen els vehicles en la via.
Sentit Creixent o Decreixent (senCreDec)	Sentit en el què circulen els vehicles respecte al PK, si el PK creix o decreix.
Número de carrils (nCar)	Quantitat de carrils què té la secció estudiada.
Tipus de equipament (tipEquip)	Si la secció disposa d'equips de detecció dobles o simples.
Velocitat de la secció (velPlaca)	La velocitat a la què es troba limitada la secció estudiada.

Font: Elaboració pròpia a partir d'informació de SCT

- Característiques de les dades de trànsit recollides: (Taula 2)

Taula 2: Taula amb les dades de trànsit finals i les seves característiques

CARACTERÍSTIQUES DE DADES DE TRÀNSIT	
Dades atributs	Característica de dada
Temps i Hora (dat)	Data i Hora de fi de la recollida de dades.
Intensitat de vehicles (int)	Quantitat de vehicles que han transitat per la secció durant el període d'integració.
Velocitat mitjana (vel)	Velocitat mitjana dels vehicles durant el període d'integració.
Ocupació (ocu)	Percentatge en el què els detectors han estat ocupats per vehicles, respecte al interval.
Temps comunicant (com)	Percentatge de temps què els equips de detecció han estat disponibles online.
Percentatge d'error (err)	Percentatge d'error de la recollida de dades dels equips de detecció.

Font: Elaboració pròpia a partir d'informació de SCT

Aquestes serien les dades inicials, a partir de les quals es treballen per a realitzar els informes de trànsit finals. En els següents apartats expliquem els diferents processos a seguir per a definir que les dades són vàlides i de qualitat.

b) Per què es recol·lecten aquestes dades?

Les dades obtingudes en la recol·lecció proporcionen als seus analistes, la informació necessària per a poder realitzar les accions més convenientes per a analitzar la mobilitat. A continuació expliquem el motiu de la recol·lecció de cada atribut de les dades més importants:

- Característiques de les seccions: És necessari la recol·lecció de les vies de procedència de les dades de trànsit, ja que els Organismes públics així poden analitzar quines vies són les més transitades, més lliures, amb més incidències ..., D'aquesta manera poden adoptar les mesures necessàries per a millorar el servei als ciutadans, com oferir vies alternatives als conductors, prediccions de retencions, planificar les operacions sortides o entrades juntament amb els elements de seguretat de l'estat ...
- Característiques de les dades de trànsit recollides: És la part vital, ja que són aquestes les dades que seran analitzades per a extreure conclusions sobre les dades que aporta cada secció de trànsit. Aquestes dades han de ser sotmeses a una avaluació per a poder ser considerades com dades vàlides per a l'estudi i anàlisi del tràfic. Aquestes dades són de vital interès, ja que amb aquestes dades es poden conèixer problemes com la quantitat de tràfic i vehicles que transiten, amb això estimar les emissions aportades pel tràfic, conèixer quines són les vies amb més accidents, amb més possibilitats de tenir accidents, en quin moment es preveuen les retencions, i més

c) Normatives a seguir

Per a assegurar la qualitat de les dades, aquestes han de seguir les directrius establertes per la normativa *PNE199152-1*. Amb aquesta norma es defineix el procediment amb el qual es detecten errors en les dades i com ha de ser reconstruïdes aquelles dades errònies. Aquesta norma no contempla els errors relatius dels equips de detecció, ja que aquests han de ser testats, calibrats correctament abans de la seva posada en marxa. [51]

En el cas del SCT, aquests apliquen uns petits canvis de criteris per a validar les seves dades finals.

d) Tipus de tractament

Per a complir la normativa prèviament esmentada i garantir la qualitat de les dades, s'han de superar 2 fases, la 1^a consistent en la depuració de les dades i una 2^a de reconstrucció de les dades errònies de la 1^a fase de filtratge.

a. 1^a Fase: Filtratge de dades:

- i. Aquest 1^{er} pas s'apliquen als períodes d'integració de 15 min. La data del període d'integració, sempre ha de ser l'inici del període. És a dir, quan l'equip de detecció ens mostra l'hora de 14:00, això ens indica que aquell període correspon de 14:00 a 14:15h.
- ii. Aquest filtratge es realitza en temps real, en quant han arribat les dades mesurades pels equips. A cada data que compleix una de les condicions del filtratge d'error, s'ha d'associar un registre d'alarma indicant els filtres que s'han aplicat, i s'ha de mostrar en la taula final d'agregats.
- iii. Aquestes dades mesurades pels equips de detecció, han de passar per 13 filtres que mostrarem a continuació en la següent taula: (Taula 3)

Taula 3: Taula amb els 13 filtres de la 1^a fase de Validació de Dades

FILTRAT DE DADES PER 15 MIN	
Filtre	Característica de filtre
1. Error de Comunicació	Aplicat quan existeix un error superior del 5 % del total del registre de dades de 15 min.
2. Intensitat màxima per carril	Aplicat quan la intensitat supera els 700 veh/15 min/carril. O també els 2400 veh/h/carril.
3. Incongruència Intensitat - Ocupació	Aplicat quan l'ocupació és superior a 0% i menor a 100%, i la intensitat és igual a 0 veh/h/carril.
4. Incongruència Intensitat - Velocitat	Aplicat quan l'ocupació és superior a 0 km/h, i la intensitat és igual a 0 veh/h/carril.
5. Intensitat errònia	Aplicat quan la intensitat de vehicles dona valors negatius.
6. Incongruència Ocupació Zero - Intensitat	Aplicat quan la intensitat és major a 0 veh/15 min/carril i el percentatge d'ocupació és igual a 0 %.
7. Incongruència Ocupació Màxima - Intensitat	Aplicat quan la intensitat és major a 2 veh o inferior a 700 veh/15 min/carril i l'ocupació és de 100 %.
8. Ocupació errònia	Aplicat quan l'ocupació dona percentatges negatius o majors al 100%.
9. Incongruència Velocitat - Intensitat	Aplicat quan la intensitat és major a 0 veh/15 min/carril i la velocitat és igual a 0 km/h.
10. Velocitat màxima	Aplicat quan la velocitat és superior a 255 km/h, perquè 255 és el màxim suportat per un byte.
11. Velocitat errònia	Aplicat quan la velocitat de vehicles dona valors negatius.
12. Classificació de vehicles	Aplicat quan el total de vehicles classificats no coincideix amb el total de vehicles.
13. Repetició de registres	Aplicat quan les dades de 2 períodes consecutius d'integració de 15 min són idèntics.

Font: Elaboració pròpia a partir de normativa *PNE199152-1*

- iv. En el cas del SCT, però existeixen petits canvis:
 - Per al Filtre 1, l'error ha de ser major al 15 % per al seu registre de dades d'1h.
 - Per al Filtre 12, aquest no s'aplica perquè els equips de detecció, no poden realitzar la classificació de vehicles amb efectivitat.
- v. Per últim, en cas de ser aplicat algun tipus de filtre a les dades, s'haurà d'indicar a la taula d'agregats el tipus d'error que presenta la dada analitzada, indicant el filtre aplicat.

- b. 2^a Fase: Mètodes de reconstrucció de dades: Existeixen 3 mètodes que es realitzen en ordre per a la reconstrucció d'aquestes dades:
- Reconstrucció automàtica basada en dades històriques:* S'utilitzen les dades d'aforament de l'any anterior i s'apliquen certs càlculs per a la reconstrucció de la intensitat, velocitat mitjana, classificació de vehicles i percentatge d'ocupació. En el cas de la intensitat, velocitat i ocupació, el mètode és el mateix per a les 3 variables: (Taula 4)

Taula 4: Passos a seguir per a la reconstrucció d'intensitat, velocitat i ocupació

RECONSTRUCCIÓ DE DADES AMB MÈTODE 1 PER INTENSITAT, VELOCITAT I OCUPACIÓ	
Procediments	Característica de Procediment
1	Obtenció de la corba patró del dia mitja laborable i del dia mitjà festiu de l'any anterior dels paràmetres a reconstruir.
2	Obtenció dels paràmetres diaris d'una setmana mitjana, a partir de les dades de l'anterior any. Prèviament s'ha de realitzar el filtrat d'aquelles dades.
3	Obtenció dels paràmetres mensuals d'un any mitjà, a partir de les dades de l'anterior any. Prèviament s'ha de realitzar el filtrat d'aquelles dades.
4	Obtenció dels coeficients correctors diaris, mensuals i anuals, a partir de les fórmules proporcionades per la normativa.
5	Càlcul dels paràmetres reconstruïts, per al període d'integració de 15 min.
6	Es substitueixen els paràmetres erronis pels paràmetres reconstruïts a les taules d'agregats dels paràmetres.

Font: Elaboració pròpia a partir de normativa *PNE199152-1*

Per a la reconstrucció del paràmetre de classificació de vehicles, es fa servir el mateix procediment utilitzant les intensitats de vehicles classificats i les intensitats totals. Però es realitza petites correccions per a arrodonir la classificació reconstruïda.

En aquest cas no detallem més aquest paràmetre, ja que el SCT no pot classificar els vehicles amb les dades obtingudes pels equips de detecció.

- ii. *Reconstrucció automàtica per mitjanes pròximes*: Aquesta reconstrucció es realitza en cas de no ser possible el 1r mètode. Consisteix en la selecció automàtica dels 3 valors dels 3 dies anteriors tipificats com el mateix tipus de dia.

Per exemple: Si la dada a reconstruir es tracta del Dimarts Laborable 24/03/2020, s'utilitzaren els 3 Dimarts Laborables anteriors, en aquest cas 17/03/2020, 10/03/2020 i 03/03/2020.

Les dades a utilitzar han de complir els següents criteris:

- Trobar-se en el mateix interval horari i mateix tipus de dia.
- Ser el mateix paràmetre de tràfic.
- Què siguin vàlids en els paràmetres a reconstruir.
- Què en els paràmetres a reconstruir, no hagin estat reconstruïts.

- iii. *Reconstrucció manual*: S'aplica aquest mètode quan no han estat possibles els 2 mètodes anteriors. Consisteix en la introducció manual de la dada inexistent o invàlida. Aquest només és aplicable per usuaris restringits i en cas de no ser possible aplicar cap altre mètode.

- iv. En el cas del SCT, es tenen en compte aquests mètodes de reconstrucció, però s'afegeix un mètode més i s'utilitza en un diferent ordre.

Reconstrucció per bàsiques i reserves: Consisteix a utilitzar les dades d'una secció alternativa, en cas de problemes en la secció a estudiar. Per tant la secció inicial seria la *bàsica*, i l'alternativa la *reserva*. És a dir, en cas de problemes en la secció *bàsica*, es passaria automàticament a utilitzar, la secció *reserva*. L'ordre de reconstrucció que aplica el SCT, quedaria com:

- Reconstrucció per bàsiques i reserves.
- Reconstrucció automàtica per mitjanes pròximes.
- Reconstrucció automàtica basada en dades històriques.
- Reconstrucció manual.

- v. Per últim segons normativa, quan ja ha estat superada aquesta 2^a fase, es procedeix a afegir a la taula d'agregats, si la dada ha estat reconstruïda o no, segons el mètode empleat:
- 0: Dada no reconstruïda.
 - 1: Reconstrucció basada en dades històriques.
 - 2: Reconstrucció per mitjanes pròximes.
 - 3: Reconstrucció manual.

Per finalitzar els tractaments realitzats a les dades, com s'ha esmentat prèviament, s'haurà d'assegurar d'introduir a la taula d'agregats les dades reconstruïdes i tractades, i a més afegir les alarmes de filtratge no superat i els mètodes de reconstrucció, quan sigui necessària la reconstrucció. Aquests són importants per a obtenir un registre històric i comprovar anomalies en els equips de detecció i poder establir altres seccions com a alternativa per als estudis.

En el cas del SCT, a més d'indicar quin mètode de reconstrucció s'ha fet servir, s'indica quins paràmetres han estat reconstruïts.

Finalment ara procedirem a indicar quins atributs s'afegeixen a la taula d'agregats del SCT, on també apareixen les dades inicials recollides: (Taula 5)

Taula 5: Dades que s'afegeixen en la taula d'agregats final

CARACTERÍSTIQUES DE DADES AFEGIDES	
Dades atributs	Característica de dada
Període integració (agrTem)	Temps de període d'integració utilitzat.
Dia d'estudi (dia)	Dia d'estudi de del període estudiat.
Mes d'estudi (mes)	Mes d'estudi de del període estudiat.
Any d'estudi (Any)	Any d'estudi de del període estudiat.
Hora d'inici (hor)	Hora en què inicia el període estudiat.
Minut d'inici (min)	Minut en què inicia el període estudiat.
Tipus de dia (tipDia)	Tipus de dia del període estudiat.
Tipus de restitució (tipRes)	Tipus de restitució utilitzat pel període.
Intensitat estimada per corva Patró (patInt)	Intensitat calculada segons les fórmules de la corva patró i aplicant els factors correctors.
Velocitat estimada per corva Patró (patVel)	Velocitat calculada segons les fórmules de la corva patró i aplicant els factors correctors.
Ocupació estimada per corva Patró (patOcu)	Ocupació calculada segons les fórmules de la corva patró i aplicant els factors correctors.
Comunicació estimada per corva Patró (patCom)	Comunicació calculada segons les fórmules de la corva patró i aplicant els factors correctors.
Error estimat per corva Patró (patErr)	Error calculat segons les fórmules de la corva patró i aplicant els factors correctors.
Filtre 1 aplicat (f1)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 1
Filtre 2 aplicat (f2)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 2
Filtre 3 aplicat (f3)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 3
Filtre 4 aplicat (f4)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 4
Filtre 5 aplicat (f5)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 5
Filtre 6 aplicat (f6)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 6
Filtre 7 aplicat (f7)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 7
Filtre 8 aplicat (f8)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 8
Filtre 9 aplicat (f9)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 9
Filtre 10 aplicat (f10)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 10
Filtre 11 aplicat (f11)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 11
Filtre 13 aplicat (f13)	Indicador de detecció d'error de tipus Filtre 13
Atributs restituits (camARes)	Indicador de paràmetres que han estat reconstruïts.

Font: Elaboració pròpia a partir d'informació de SCT

e) Solucions Tecnològiques

Des de la recollida de dades mesurades pels equips de detecció, fins als equips d'emmagatzematge i processament de dades, existeixen multitud de solucions tecnològiques utilitzades per a obtenir unes dades de trànsit de qualitat.

a. Tecnologia a les vies

- i. *ETD (Estació Recol·lectora de dades)*: Són equips instal·lats a les vies, normalment carreteres, que treballen juntament amb espires electromagnètiques enterrades sota l'asfalt, que envien informació a la detectora quan un vehicle passa per sobre d'aquestes.

Quan s'utilitza 1 espira s'anomena detecció simple, registrant el nombre total de vehicles que passen, el nivell d'ocupació i inclòs tenint la capacitat de poder classificar els tipus de vehicles que hi circulen. A més poden tenir mecanismes de calibratge, per a assegurar que les dades que reben de les espires són fiables. Si s'utilitzen 2 espires proporciona també la velocitat dels vehicles. [52] (Figura 23)

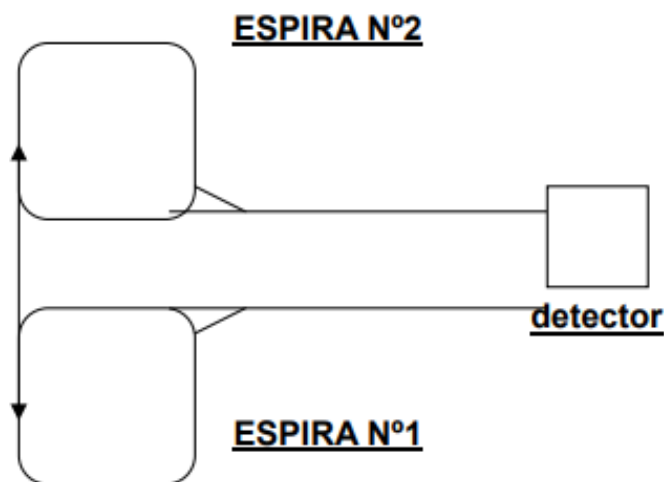


Figura 23: Esquema de detectores i espires a les vies

Font: Elaborat per dgt.es

- ii. *ERU (Estació Remota Universal)*: Són equips instal·lats a les vies, que controlen e interactuen amb els perifèrics instal·lats a les vies. Utilitzen diferents sistemes de control de tràfic per a emmagatzemar les dades recollides a l'ETD i després enviar-les al Centre de Control (CC). [53]

b. Tecnologia per a la intercomunicació entre Centre de Control i Vies

- i. *Switchs*: Són equips instal·lats tant a les vies com als Centres de Control, que permeten la creació, encaminament i integració d'una xarxa de comunicacions. Permeten tant la utilització de fibra òptica, així com de Cables Ethernet per a transmetre dades a gran velocitat entre origen i destí i establir comunicació entre els 2 llocs. [54] (Figura 24)



Figura 24: Switch's de xarxes de comunicacions

Font: Elaborat per mundonas.com

- ii. *Cablejat de Fibra òptica*: Cablejat construït per a transportar dades en llargues distàncies, amb doble coberta de protecció per a protegir la fibra òptica de possibles desperfectes. [55] La fibra òptica permet una major atenuació dels senyals, no sent afectat per les interferències electromagnètiques i per tant ideal per a llargues distàncies. (Figura 25)



Figura 25: Estesa de cablejat de fibra òptica a les vies

Font: Elaborat per catalunyapress.es

c. Tecnologia al Centre de Control (CC)

- i. *Servidor Base de Dades:* Es tracta de l'equip físic *hardware* integrat a la xarxa informàtica del CC, on s'emmagatzemen tant les dades enviades des de l'ERU fins al CC com també les dades tractades i agregades dels Enginyers de Trànsit. Per a poder gestionar les BBDD allotjades al *Server* es necessita un Sistema Gestor de Base de Dades. [56] (Figura 26)



Figura 26: Exemple de servidors dedicats a BBDD

Font: Elaborat per dell.com

- ii. *Sistema Gestor de Base de Dades (SGBD)*: El SGBD és el software amb el qual es permet administrat i gestionar les BBDD, poder consultar o modificar les dades emmagatzemades. Es tracta de la interfície entre usuaris i servidors. S'aconsegueix restringir l'accés als usuaris, així com millorar el rendiment del sistema, o crear i gestionar còpies de seguretat. Per tant el programari, proporciona funcions de seguretat, control de concurrència, recuperació i integritat a les BBDD. [57] (Figura 27)

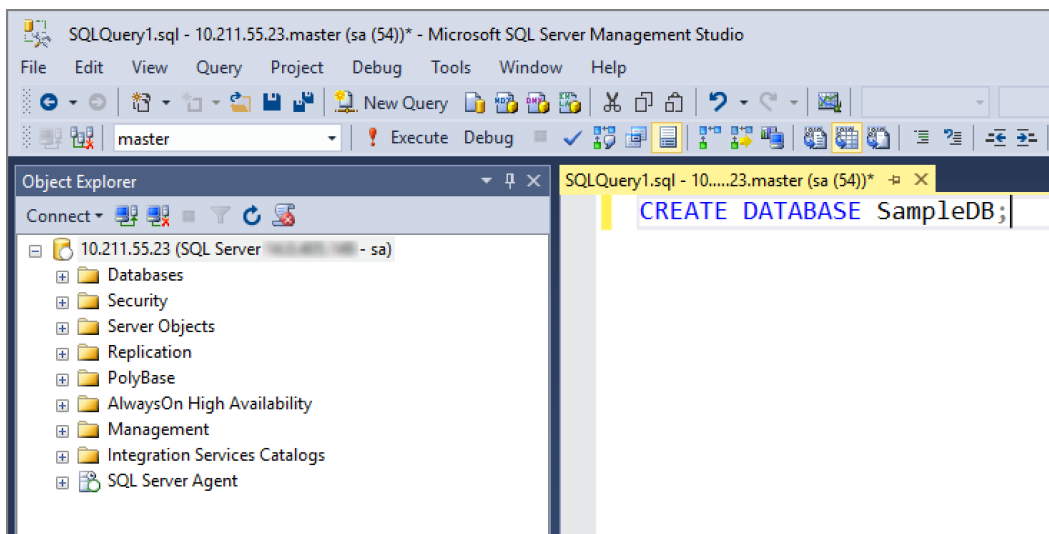


Figura 27: Exemple d'interfície d'un SGBD

Font: Elaborat per docs.microsoft.com

4.4.3 Emissions contaminants

A les vies públiques de trànsit es generen diverses emissions contaminants, per la natura dels combustibles d'origen fòssil utilitzats pels vehicles. La quantitat d'aquests contaminants depèn de factors com el vehicle (antiguitat, potència, combustible ...), tipus de via o tipus de conducció.

L'increment de la demanda de mobilitat de la ciutadania i les previsions d'augment del nombre de vehicles i desplaçaments han fet que els vehicles de transport es converteixin en els principals consumidors d'energia, i com a conseqüència, els emissors principals de contaminants a l'atmosfera.

A les zones urbanes, la principal font emissora de contaminants són els vehicles. També s'ha constatat que les vies amb una intensitat de trànsit elevada tenen associats nivells d'emissió elevats. Els vehicles de motor generen més del 25% de les emissions de GEI i la major part de la contaminació atmosfèrica urbana que afecta les persones.

Segons l'Agència Europea del Medi Ambient, els nivells de contaminació representen un risc per a la salut. Les poblacions urbanes estan exposades a concentracions de contaminants atmosfèrics que superen els valors objectius relacionats amb la salut definits a les directives europees sobre la qualitat de l'aire i a més les emissions NO_x i les partícules PM₁₀ i PM_{2.5}, no paren d'augmentar.

Segons l'estudi realitzat pel Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental de Barcelona (CREAL), titulat *ELS BENEFICIS PER A LA SALUT PÚBLICA DE LA REDUCCIÓ DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA A L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA*, amb l'augment dels nivells de contaminació també augmenta el nombre de consultes mèdiques, consultes d'urgències i admissions hospitalàries, a causa dels símptomes relacionats amb els sistemes cardiovasculars i respiratoris.

La reducció dels nivells de contaminació atmosfèrica anuals fins als estàndards de la Unió Europea (UE) tindria com a resultat unes 1.200 morts menys a l'any, un augment de gairebé 5 mesos en l'esperança de vida, 600 hospitalitzacions cardiorespiratòries menys, 1.900 casos menys de bronquitis crònica en adults, 12.100 casos menys de bronquitis agudes en infants i 18.700 atacs d'asma menys en infants i adults. [58]

Amb aquestes dades proporcionades per l'Ajuntament de Barcelona, es pot comprovar el gran impacte que tenen les emissions contaminants en les persones. A més en el *Pla Clima 2018-2030*, proporciona informació sobre els efectes de la contaminació en el planeta també.

Per al nostre estudi com que volem relacionar la intensitat de vehicles amb aquestes emissions, analitzarem les emissions contaminants produïdes pels vehicles, i els seus efectes, que contribueixen a augmentar els GEI i la contaminació atmosfèrica:

a) Emissions CO₂

El CO₂ és un gas inodor, incolor, lleugerament àcid i no inflamable. És soluble en aigua a pressió constant, és present a l'atmosfera com un component més del planeta.

Es troba en estat gasós en condicions normals, però pot solidificar-se a temperatures inferiors de -79 °C, i ser líquid quan es mescla amb aigua. Els incendis forestals produeixen un alliberament significatiu, per la crema de combustibles fòssils. En general en tots els processos d'obtenció d'energia, es produeixen emissions per la crema d'aquests combustibles. [59]

- Efectes per a la salut: No es tracta d'un tòxic que pot provocar dany o enverinament, de fet les persones la generen quan exhalen durant la respiració. Però aquestes emissions desplacen l'oxigen (O₂) i en cas de concentracions molt elevades pot provocar asfíxia, per un menor nivell d'O₂.

També en concentracions altes, pot provocar maldecaps, falta de concentració, somnolència, marejos i problemes respiratoris. A més en entorns tancats, es pot notar una certa olor del gas contaminant. A persones amb asmes és vital evitar notòries concentracions de CO₂. [60]

- Efectes per al medi ambient: És el principal GEI d'origen humà. Contribueix a l'escalfament global, i es noten les conseqüències diàriament. Des de fa dècades hi ha un creixement sostingut d'aquest gas. Des de 1990, hi ha un augment del 43 % de l'augment de la captació de radiació, efecte de l'escalfament sobre el clima, i el CO₂ és responsable d'aproximadament el 80%.

Per tant té un efecte molt greu a llarg termini, ja que pot provocar un augment de la temperatura global de 2 graus, suposant un greu perill per a la conservació de la zona Àrtica, i amb perill que els oceans, rius augmentin de manera considerable el seu nivell. [61]

Actualment hi ha més d'un 45% més de CO₂ que a l'inici de l'era industrial (1760), mesurant les parts per milió (ppm) arribant a un pic de 418,14 ppm a maig del 2018. [62] (Figura 28)

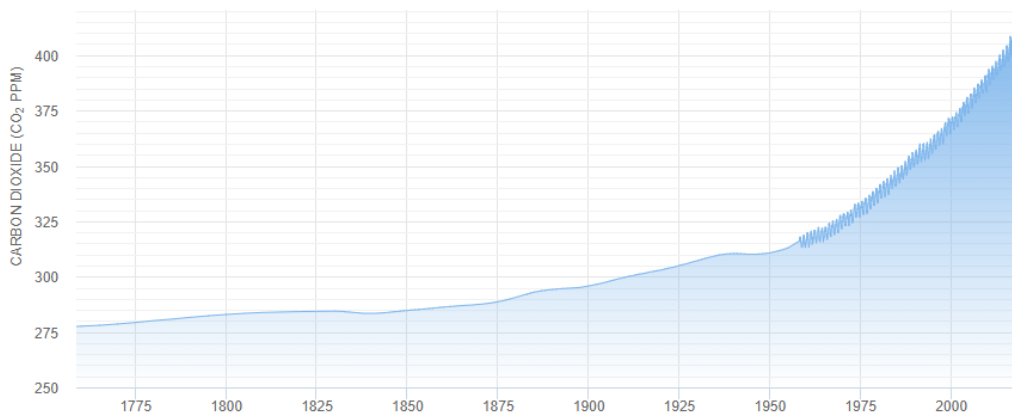


Figura 28: Concentració de CO₂ a l'atmosfera des de 1760 fins l'actualitat

Font: Elaborat per co2levels.org

El fet que la demanda d'electricitat, vehicles de transport o la indústria total hagi augmentat i s'hagi globalitzat tant, ha comportat un augment de crema de carbó, petroli i gas natural, augmentant la quantitat de tones de CO₂ produïdes al món, fins a arribar a les 33,3 Gigatonnes (Gt) produïdes en el món. [63] (Figura 29)

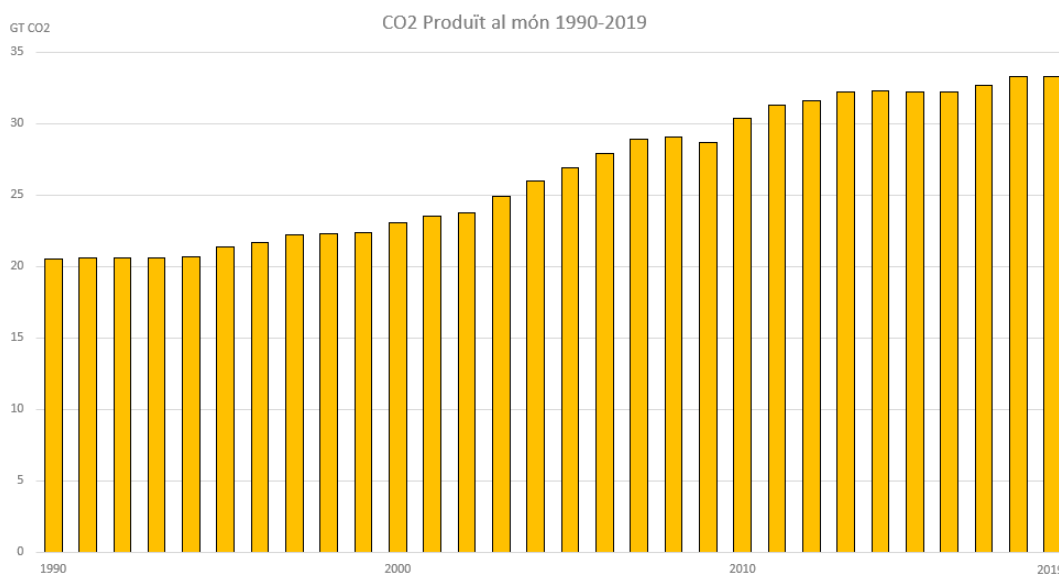


Figura 29: Gt de CO₂ produïdes entre 1990 fins el 2019

Font: Elaboració pròpia

A més tot i que com hem vist el CO₂ és molt més perillós per al medi ambient que per als humans, igualment aquest augment de CO₂ està provocant un descens continu d'O₂ que pot provocar a llarg termini també greus conseqüències en els humans. [64] (Figura 30)

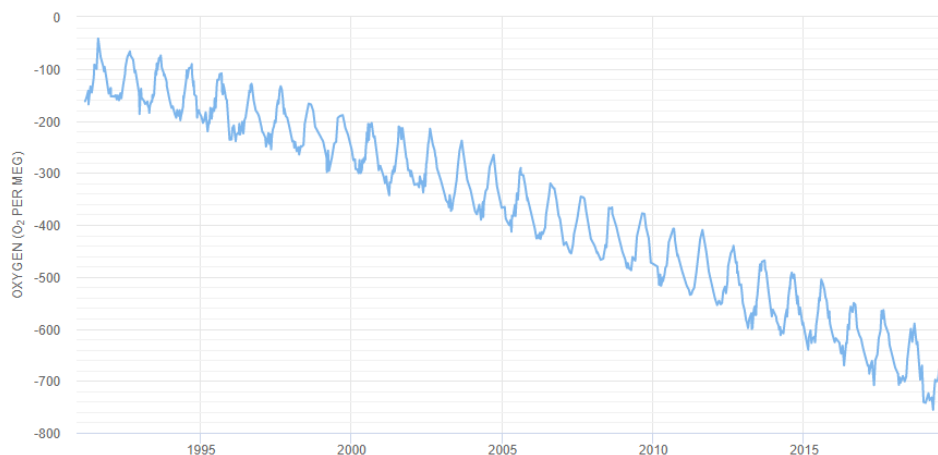


Figura 30: Concentració d'O₂ a l'atmosfera des de 1991 fins l'any 2019

Font: Elaborat per co2levels.org

Si parlem del nostre estudi on relacionem les emissions de CO₂ amb la intensitat de vehicles, destaquem que a Espanya el sector del transport aporta fins a un 25 % de GEI. I el transport per carretera, és a dir, els vehicles que circulen per les vies, representen el 95% d'aquestes emissions. Per tant es confirma el gran impacte que té, la circulació de vehicles en les emissions contaminants. [64]

b) Emissions NO_x

Els NO_x són un grup de gasos composts per òxid nítric (NO) i diòxid de nitrogen (NO₂). Es coneixen com a NO_x a la combinació d'aquests dos. El NO₂ és el principal gas contaminant dels NO_x. Es forma en els processos de combustió en els vehicles motoritzats, a les plantes elèctriques per la crema de combustibles fòssils, resultant en un gas tòxic, irritant de color groguenc. A la naturalesa amb els incendis forestals o l'activitat volcànica, també es produeixen NO_x.

- Efectes per a la salut: És una substància corrosiva per a la pell i el tracte respiratori, provocant enrogiment i cremades cutànies greus. La inhalació en elevades concentracions i durant un curt període de temps, pot originar edemes pulmonars. Una exposició prolongada afecta al sistema immune i al pulmó, donant lloc a una menor resistència davant infeccions i canvis en el teixit pulmonar. [65]
- Efectes per al medi ambient: Tot i que no té conseqüències tan greus com per a la salut, contribueix a la destrucció de la capa d'ozó, a l'aparició de pluja àcida. A

més un dels efectes, és la contribució a la boira fotoquímica *smog*, que deixa una atmosfera amb una boira groguenca. [66] I pel que fa a GEI, la crema de combustibles fòssils o la mateixa desforestació pot provocar la formació d'Òxid Nitrós (N_2O), un gas contaminant que contribueix a l'escalfament climàtic. [67]

Per posar un exemple, al Regne Unit l'emissió de NO_x s'ha reduït en un 74% des de 1970 fins al 2018, produint unes 823 Kilotones (Kt) en aquell any. (Figura 31) La introducció dels convertidors catalítics en els vehicles i l'inici de les regulacions d'emissions van ser l'inici de la reducció d'emissions. [68]

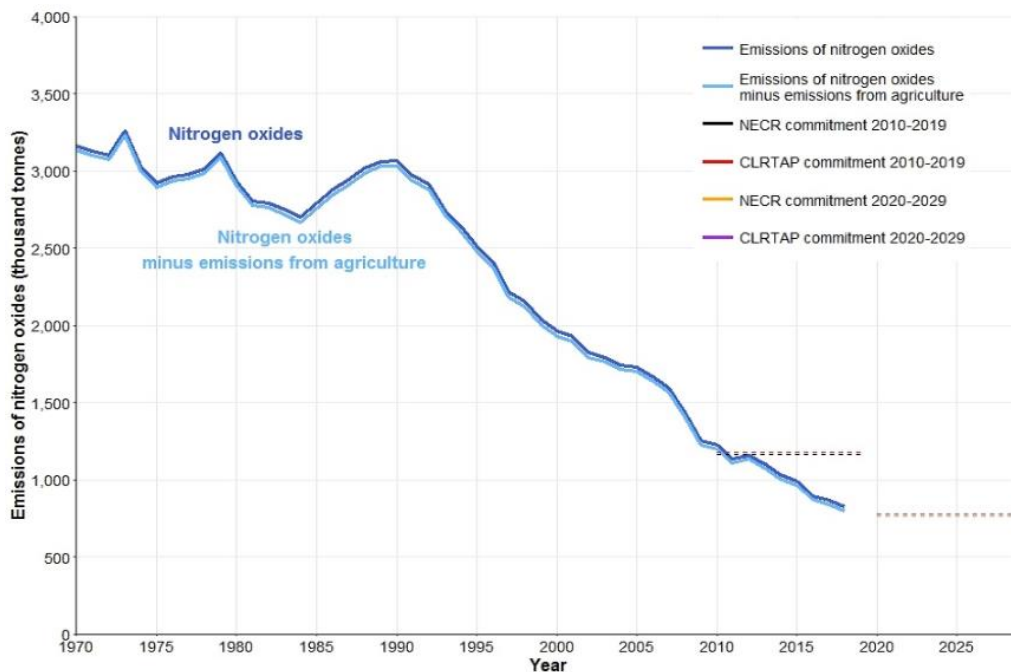


Figura 31: Disminució de NO_x al Regne Unit des de 1970 fins l'any 2018

Font: Elaborat per gov.uk

Un altre exemple, als EUA l'emissió de NO_x s'ha reduït en un 60% des de 1970 fins al 2017, produint 10,77 Megatonnes (Mt) en aquell any. (Figura 32) La disminució de la generació d'energia a través de carbó i la implementació de regulacions ambientals va ajudar a produir aquell gran descens en les emissions. [69]

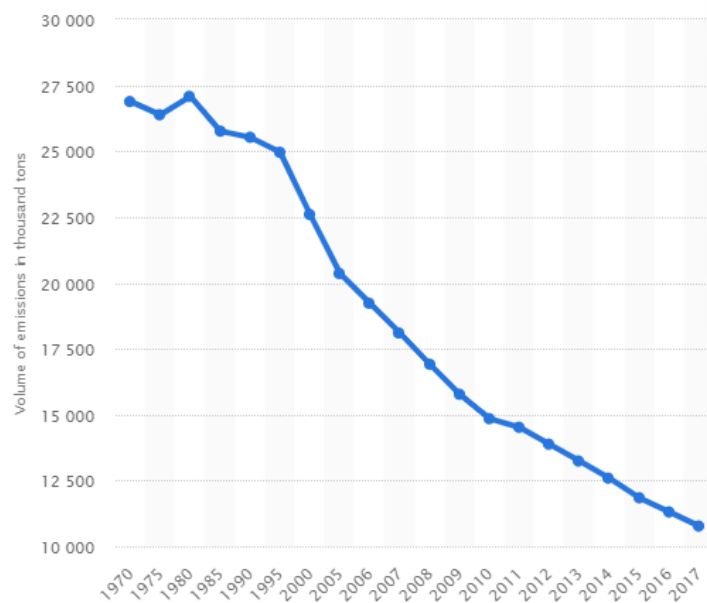


Figura 32: Disminució de NO_x als EUA des de 1970 fins l'any 2017

Font: Elaborat per statista.com

A més la contínua modernització del parc automobilístic, va suposar deixar d'utilitzar vehicles més contaminants del passat. Per altra part, la utilització de fonts d'energia netes, o la introducció dels vehicles sense emissions, han suposat un descens important en l'emissió d'emissions.

Si parlem del nostre estudi on relacionem les emissions de NO_x amb la intensitat de vehicles, destaquem que a Espanya en l'ambient urbà, el tràfic de vehicles aporta fins a un 75% del total d'emissions de NO₂. Pel fet que els ciutadans viuen molt proper al tràfic de vehicles, l'exposició humana a aquest contaminant és molt elevat. Per tant es pot afirmar que a les grans aglomeracions urbanes, zones metropolitanes és on es concentren els majors nivells de NO_x. L'Organització Mundial de la Salut (OMS) ha establert uns límits, als quals no s'hauria d'arribar per garantir la salut de les persones. [70] (Figura 33)

Guías	
NO ₂ :	40 µg/m ³ , media anual 200 µg/m ³ , media de una hora

Figura 33: Límits d'emissions NO₂ recomanats per l'OMS

Font: Elaborat per miteco.gob.es

Per això, durant l'any 2019 a Europa s'ha introduït la norma RDE per a poder obtenir una millor conclusió de les emissions de partícules NO_x dels vehicles, suposant per tant una altra restricció per a seguir millorant la qualitat de l'aire de les ciutats europees. [47]

c) Partícules PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$

Les PM_{10} són les partícules sòlides o líquides de pols, cendres, sutge, partícules metàl·liques, ciment o pol·len, disperses en l'atmosfera, que poden tenir un diàmetre de 2,5 a 10 μm . Aquestes partícules procedeixen en un 77,9 % del pols existent en l'atmosfera, i el tràfic suposa un 6,5 % d'aquestes partícules. Per transport, aquestes partícules són formades per material orgànic associat a partícules de carbó (sutge). [71]

Les partícules $\text{PM}_{2.5}$ poden tenir un diàmetre de 2,5 μm o menor a aquella mida. És formada per una mescla de substàncies químiques orgàniques, pols, sutge, metalls. Poden procedir d'automòbils, camions... [72]

- Efectes per a la salut: L'exposició prolongada a les partícules PM_{10} provoquen efectes nocius en el sistema respiratori de les persones, però les partícules $\text{PM}_{2.5}$ són més perjudicials, ja que poden travessar i arribar als pulmons. Aquestes partícules més petites es dipositen en els alvèols i poden provocar vessament cerebral, càncer de pulmó, infeccions respiratòries agudes, malalties al cor i més.
- Efectes per al medi ambient: Les partícules tot i que tenen sobretot un gran impacte en la salut de les persones, també impacten en el medi ambient, ja que aquestes partícules poden absorbir o emetre radiació, alteren la coberta nuvolosa i es poden donar reaccions químiques. També afecten la fotosíntesi de les plantes, afectant l'emissió del CO_2 . [73]

Per posar un exemple, a la ciutat de Xangai a la Xina, en el 1998 la pol·lució de la ciutat era dominada per la combustió de carbó i dels vehicles de motor. Sobrepassaven els límits de contaminació, i els pròxims 15 anys, es van implementar mesures per optimitzar infraestructures energètiques, controlar la contaminació i els controls d'emissions. Això ha suposat una gran disminució en la qualitat de l'aire a Xangai. En 2013 a més, introdueixen la mesura de les $\text{PM}_{2.5}$ i adopten mesures més intensives i sistemàtiques. I aconsegueixen una gran reducció novament. [74] (Figura 34)

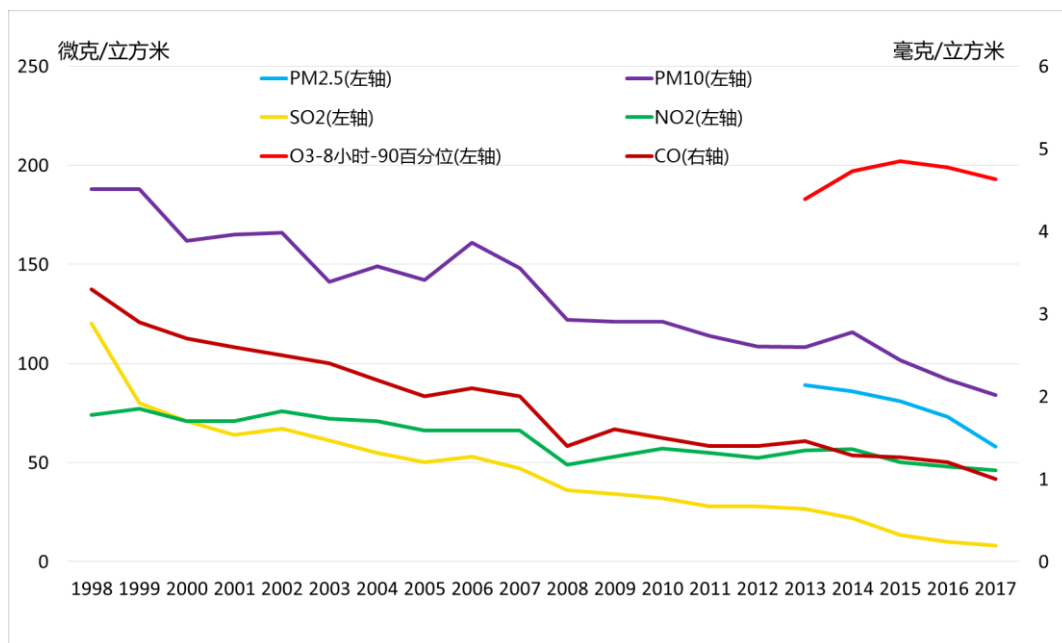


Figura 34: Partícules PM₁₀ i PM_{2.5} a Xangai durant 1998 a 2017

Font: Elaborat per ccacoalition.org

Si parlem del nostre estudi on relacionem les emissions de partícules amb la intensitat de vehicles, destaquem que a Espanya en l'ambient urbà, el tràfic de vehicles aporta fins a un 8% del total d'emissions de PM₁₀, (Figura 35) i un 9,5% d'emissions de PM_{2.5} (Figura 36) en l'any 2017. Espanya va generar 172,1 Kt de PM₁₀ i de 105,1 Kt de PM_{2.5} en l'any 2017. Tot i que hi ha un descens important en les emissions d'aquestes partícules a Espanya, segueix sent vital la reducció d'emissions contaminants per a la millora de la salut i del medi ambient. [75]

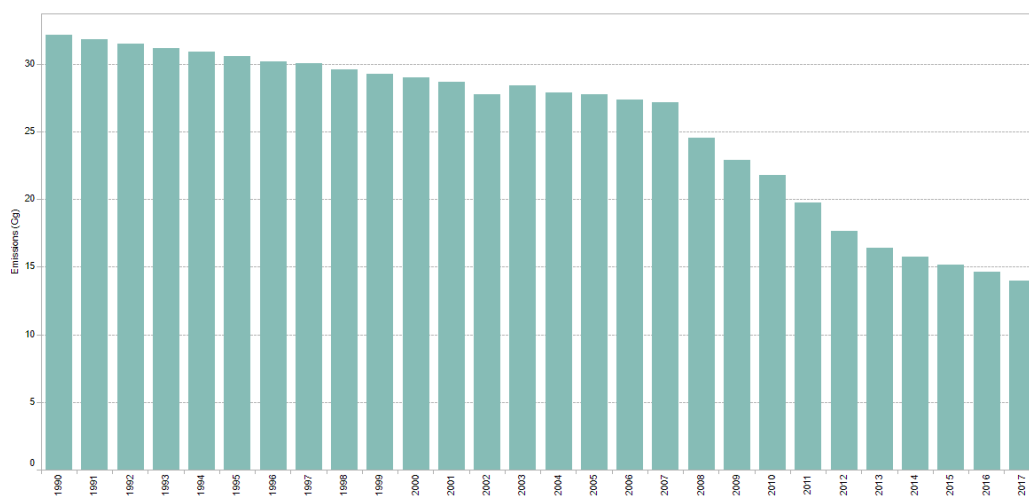


Figura 35: Partícules de PM₁₀ generat pel tràfic de vehicles durant 1990 a 2017

Font: Elaborat per eea.europa.eu

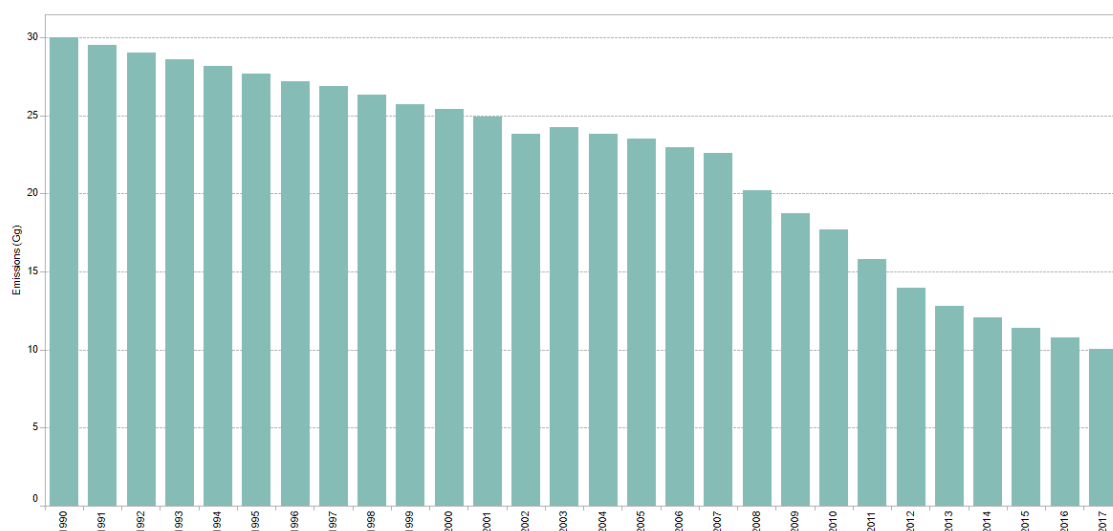


Figura 36: Partícules de PM_{2.5} generat pel tràfic de vehicles durant 1990 a 2017

Font: Elaborat per eea.europa.eu

Per tant podem afirmar que tot i la menor emissió de partícules respecte al CO₂ i NO_x, aquests poden ser molt perjudicials per a la salut i poden resultar en un greu problema per al medi ambient si no es controlen.

4.4.4 Dades d'emissions de l'estudi

Per a parlar de les diferents variables que afecten les dades d'emissions (GEI, energia no renovable utilitzada al món, excés de residus de plàstics), parlem d'un camp relativament nou anomenat Ciència Mediambiental, que combina la Química, Biologia, Física, Geografia i Ciències Socials, enfocant-lo al Medi Ambient. [76]

Però a causa de la diversitat de sectors que arriben a tenir un gran impacte, existeixen diversos enfocaments d'aquesta ciència per a tractar de millorar el Medi Ambient.

Per al nostre cas, analitzarem aquelles dades d'emissions resultants de la combustió dels vehicles analitzats per organitzacions públiques les quals estudien i documenten les emissions del parc automobilístic i per organitzacions enfocades en les emissions i la qualitat de l'aire, que analitzen l'impacte que tenen els vehicles a curt i llarg termini en el planeta. [77]

a) Dades recol·lectades

El VCA recol·lecta diverses dades relacionades amb les emissions mesurades als diversos models de vehicles que formen part del parc automobilístic per a valorar quin impacte tenen per a la ciutat, com tipus de combustible que utilitzen, autonomia elèctrica, emissions de CO₂, NO_x, PM i més atributs. En aquest apartat, ens centrarem en les dades proporcionades per aquest organisme per a la realització del nostre estudi.

En aquest primer apartat, ens trobem amb la taula de la seva BBDD que mostra les dades recol·lectades pels equips de mesura d'emissions i que serveixen per a obtenir les dades d'emissions de cada vehicle. És a dir, emissions de CO₂, NO_x, PM, autonomia elèctrica dels vehicles, tipus de norma la que pertany el vehicle i més atributs que en el nostre estudi no necessitem.

A continuació agruparem les dades recol·lectades del VCA segons:

- Característiques dels vehicles: (Taula 6)

Taula 6: Taula amb els atributs dels vehicles i les seves característiques

CARACTERÍSTIQUES DELS VEHICLES	
Dades atributs	Característica de dada
Marca del vehicle (Fabricant)	Nom del fabricant del model del vehicle.
Model del vehicle (Model)	Model de la marca del vehicle.
Versió del model (Descripció)	Versió del model del vehicle.
Volum total dels cilindres del vehicle (Cilindrada)	Volum total del motor de combustió del vehicle.
Combustible i Propulsió del vehicle (Comb/Prop)	Combustible amb el que es propulsa el vehicle.

Font: Elaboració pròpia a partir d'informació de VCA

- Característiques de la normativa: (Taula 7)

Taula 7: Taula amb els atributs de la normativa i les seves característiques

CARACTERÍSTIQUES DE LA NORMATIVA	
Dades atributs	Característica de dada
Norma Europea complerta (Norma)	Norma europea mediambiental d'emissions complerta pel vehicle
Estàndard del cicle de conducció (Cicle)	Estàndard mediambiental utilitzat per a les dades d'emissions

Font: Elaboració pròpia a partir d'informació de VCA

Aquestes serien les dades inicials, a partir de les quals es donen a conèixer les emissions oficials dels vehicles. En el nostre cas només mostrem aquestes dades que són imprescindibles per al nostre estudi, excloent característiques de vehicles com transmissió, potència i altres, que no aporten interès per a les emissions.

En els següents apartats expliquem els diferents processos a seguir que es realitzen per a obtenir les emissions dels vehicles.

b) Per què es recol·lecten aquestes dades?

Les dades obtingudes en la recol·lecció proporcionen als ciutadans i organismes, la informació necessària per a poder realitzar les accions més convenientes ja sigui per a realitzar la compra d'un vehicle, implementar mesures contra els vehicles més contaminants, implementar mesures anticontaminació, ... A continuació, expliquem el motiu de la recol·lecció de cada atribut de les dades més importants:

- Característiques dels vehicles: És necessari la recol·lecció de les característiques de cada vehicle, ja que així es poden analitzar quins vehicles són més ecològics i els organismes poden aplicar restriccions en cas de sobrepassar límits d'emissió, retirar del parc automobilístic els vehicles més contaminants ... D'aquesta manera es poden adoptar les mesures necessàries per a millorar la qualitat de l'aire de la ciutat, com aplicar sancions sobre els vehicles més contaminants, incentivar els vehicles més nets, realitzar plans per a reduir i millorar el tràfic ...
- Característiques de la normativa: És vital per al nostre estudi, ja que amb aquestes dades es podran extreure conclusions sobre quin tipus de vehicle és més contaminant segons quin tipus de cicle de conducció. Aquestes dades permetran conèixer quins vehicles superen les normes europees mediambientals i les dades d'emissions en un cicle de conducció més realista. Aquestes dades a més ens permetran conèixer quina etiqueta mediambiental, utilitzen els diferents models de vehicle del nostre estudi i per tant classificar els vehicles segons tipus d'etiqueta, emissions, tipus de combustible utilitzat, norma europea ...

Per altra part, des del punt de vista d'organismes independents com Air Index, aquests busquen donar a conèixer informació de confiança basada en experiència, coneixement d'experts globals en temes d'emissions de vehicles, qualitat de l'aire, atenció mèdica, poder abordar de manera immediata les crisis d'emissions de NO_x dels vehicles dièsel o bé oferir solucions per a la reducció de l'impacte del CO₂ dels vehicles mitjançant les dades que ofereixen en les seves proves de mesura d'emissions. [78]

c) Normatives a seguir

Per a assegurar l'obtenció i qualitat de les dades, aquestes han de seguir les directrius establertes per diferents normes abans esmentades com l'estàndard de cicle de conducció WLTP i la nova norma RDE per a les dades d'emissions en conducció en condicions reals. Ara explicarem de manera breu cada normativa per a poder diferenciar-la de millor manera:

- Test WLTP: Aquest nou assaig de laboratori s'aplica mundialment, per a substituir en el cas d'Europa, a l'antic cicle NEDC. Aquest nou tipus de test, mesura el consum de combustible, emissions CO₂ i altres contaminants en un perfil de conducció més dinàmic i realista, respecte a l'antic més teòric. [47]
- Test RDE: Nou assaig d'emissions contaminants que verifica que els vehicles mantinguin les seves baixes emissions durant condicions reals de conducció en carretera. És un complement en l'àmbit europeu per al WLTP. [47]

A més la norma RDE, ha suposat la creació de l'estàndard CWA 17379:2019, que permetrà als diferents organismes complementar la RDE, amb dades d'emissions dels vehicles en condicions reals de conducció especialment en àrees urbanes:

- Estàndard CWA 17379:2019: És l'últim estàndard realitzat per a crear unes directrius de procediment per a mesurar les emissions de NO_x i per tant, buscar una millor qualitat de l'aire en les ciutats europees. Aquest estàndard certifica que els mètodes de mesurament mitjançant els equips portàtils de mesura d'emissions (PEMS) són constantment aplicats. Aquest estàndard ha estat construït partint de la norma RDE com a base, i es basa a obtenir emissions durant una conducció de tipus urbana. [79]

d) Tipus de tractament

Per a complir les normatives prèviament esmentades i garantir la qualitat de les dades, s'ha de seguir els procediments de mesura d'emissions. En aquest cas per a cada norma, s'han de passar unes proves que permetran garantir unes dades de qualitat:

- Test WLTP: Les simulacions es divideixen en 4 parts amb velocitat mitjanes diferents: Baixa (Urbana a 56,5 km/h), Mitja (Suburbana a 76,6 km/h), Alta (Extraurbana a 97,4 km/h) i Extraalta (Autopistes a 131,3 km/h). Amb això la velocitat mitjana augmenta fins a 46,5 km/h, la durada del cicle és de 30 minuts, 10 més que l'antic, i el recorregut passa d'11 a 23,25 quilòmetres. Aquest test inclou fases de conducció, com accelerar, frenar, parar, tornar a circular i a més inclou cada tipus de versió dels diferents models per conèixer com canvien els resultats. [47]
- Test RDE: Per a realitzar aquest test, s'ha de conduir el vehicle per carretera en diverses condicions diferents, com altituds i temperatures diferents, en descensos, ascensos, en carreteres urbanes, rurals i autopistes. Realitzen les proves d'emissions amb PEMS, que proporcionen un monitoratge completa en temps real dels contaminants emesos. Amb aquests equips es poden certificar que els vehicles es troben dins dels límits del Reglament. En el cas d'emissions NO_x i PM el factor límit és de 2,1 i d'1,5 respectivament per a l'any 2020, mentre que a partir del 2021, el factor serà d'1,5 per a les 2 emissions. [47]
- Estàndard CWA 17379:2019: Per a complir amb els requisits imposats, s'han de complir certs criteris: [77]
 - Dos models de vehicles iguals per a fer l'estudi.
 - S'han de realitzar almenys 3 proves per als vehicles.
 - Aquestes proves han de tenir almenys 5 recorreguts de 10 quilòmetres cadascun, en asfalt a una velocitat mitjana d'entre 20 i 40 km/h.

Complint aquestes normes en els laboratoris d'homologacions i en les carreteres, s'obté la garantia d'obtenir dades de qualitat de CO₂, de NO_x i de PM en el nostre cas.

Finalment seguint i complint aquestes directrius s'aconsegueixen unes dades de qualitat d'emissions que queden reflectides com mostrem:

- Característiques de les dades d'emissions afegides: (Taula 8)

Taula 8: Taula amb els atributs de les dades afegides i les seves característiques

CARACTERÍSTIQUES DE DADES AFEGIDES	
Dades atributs	Característica de dada
Emissions CO ₂ en cicle WLTP (CO ₂ [g/km])	Emissions CO ₂ produïdes pel vehicle sota el cicle WLTP.
Autonomia elèctrica del vehicle (Aut elect [km])	Autonomia elèctrica màxima oficial què homologa el vehicle segons el fabricant.
Emissions NO _x en cicle WLTP (NO _x [mg/km])	Emissions NO _x produïdes pel vehicle sota el cicle WLTP.
Emissions NO _x sota norma RDE (RDE NO _x [mg/km])	Emissions NO _x produïdes pel vehicle sota la norma RDE.
Emissions PM en cicle WLTP (Part [mg/km])	Emissions PM produïdes pel vehicle sota el cicle WLTP.

Font: Elaboració pròpia a partir d'informació de VCA

Per al nostre estudi només utilitzem aquestes dades afegides que són imprescindibles en el treball exclouent altres atributs com consum de combustible del vehicle, consum d'electricitat de vehicle elèctric, monòxid de carboni (CO), emissions totals d'hidrocarburs (THC), que no analitzarem en el nostre cas.

e) Solucions Tecnològiques

Des de les proves d'homologacions fins a la final recollida de dades mesurades pels PEMS, fins als equips d'emmagatzematge i processament de dades, existeixen multitud de solucions tecnològiques utilitzades per a obtenir unes dades d'emissions de qualitat.

a. Tecnologia als laboratoris

- Bancs dinamomètrics:* Són equips utilitzats en tallers, centres tecnològics o d'inspeccions, per a moltes funcions entre d'altres, la mesura d'emissions de gasos dels vehicles sota càrrega. Aquests bancs disposen d'equips de mesura d'emissions basats en infrarojos que poden mesurar fins a 5 gasos com CO, CO₂, THC, O₂ i NO_x.

Són constituïts en la seva majoria per un doble bastidor d'acer que alberga corrons enfrontats per roda en la part davantera i també alineats en la part posterior. Aquests bancs disposen de tot el necessari, com equips de mesura d'emissions amb ampolles de gas per a calibrar els equips, consoles de monitoratge, software personalitzat per als bancs i poder certificar les emissions. [80] (Figura 37)



Figura 37: Banc dinamomètric utilitzat en laboratoris d'emissions

Font: Elaborat per revistacentrozaragoza.com

La recollida de mostres es realitza col·locant unes canonades instal·lades en els tubs d'escapaments dels vehicles. Els gasos recollits són portats mitjançant canalitzacions als sistemes d'anàlisi, i una altra part d'ells a unes bosses de plàstic i analitzadors, on es determina la concentració de cadascun d'ells. [81]

b. Tecnologia a les vies

- i. *PEMS (Equips portàtils de mesura d'emissions)*: Són dispositius capaços de monitorar dades en marxa del vehicle sobre el qual s'instrumenta en temps real, permetent l'anàlisi de consum i emissions sota situacions reals de conducció. Aquests compten amb una sèrie d'analitzadors capaços d'aportar valors de cabal de l'escapament, consum de combustible, i mesura de gasos CO, CO₂, NO_x i PM presents en els gasos d'escapament dels vehicles. Disposen d'equips amb Sistemes de Posicionament Global (GPS) del vehicle a cada moment, a més de les condicions ambientals de

pressió, temperatura i humitat relativa. A més són acompanyats de programari de control per a validar les dades en temps real, així com el processament posterior de les dades per a l'anàlisi de resultats de consums i emissions. [82] (Figura 38)



Figura 38: Equips PEMS muntats en un vehicle durant una prova

Font: Elaborat per de.wikipedia.org

c. Tecnologia al Centre de Control (CC)

- i. *Servidor Base de Dades*: Equip físic *hardware* integrat a la xarxa informàtica del CC, on s'emmagatzemen les dades d'emissions mesurades dels vehicles. Per a poder gestionar les BBDD allotjades al Servidor es necessita un Sistema Gestor de Base de Dades.
- ii. *Sistema Gestor de Base de Dades (SGBD)*: El SGBD és el software amb el qual es permet administrat i gestionar les BBDD, poder consultar o modificar les dades emmagatzemades. Es tracta de la interfície entre usuaris i servidors. S'aconsegueix restringir l'accés als usuaris, així com millorar el rendiment del sistema, o crear i gestionar còpies de seguretat. Per tant es tracta del programari que proporciona funcions de seguretat, control de concurrència, recuperació i integritat a les BBDD.

5 REALITZACIÓ DEL PROTOTIP D'IA

5.1 Introducció

Finalment, després d'assimilar tots els conceptes que envolten aquest estudi, es presenta a continuació la part pràctica que consisteix en la realització d'un Prototip d'Anàlisi i Predicció mitjançant tecnologia d'IA, en aquest cas utilitzant una de les rames més conegudes d'IA, com ML.

Es procedirà a crear un prototip seguint les indicacions que hem descrit prèviament on demostrarem les grans possibilitats que pot aportar la tecnologia d'IA, per a analitzar i predir la quantitat de vehicles que poden circular en l'Anell 0 i conèixer conseqüentment, estimacions d'emissions que pot patir la ciutat de Barcelona.

5.2 Què sortida d'informació ha de donar la IA?

Com ja hem esmentat, l'objectiu d'aquest prototip d'IA, és estimar quantitats de vehicles que circulen a les autopistes en els accessos a Barcelona per a continuació, aconseguir realitzar una comparació entre les nostres estimacions 2020 i les dades reals per a l'any 2020, tant a escala de trànsit com d'emissions generades.

En el nostre cas, per tant ens trobem davant d'un problema de regressió on volem obtenir una estimació quantitativa, no una classificació d'objectius.

Amb això confirmem que la sortida d'informació que ha de donar aquesta IA, no ha de ser una classificació de les dades, sinó una quantitat estimada a partir de dades.

A continuació, explicarem en el següent apartat, un dels punts vitals per a aconseguir una millor precisió del nostre futur model de prediccions.

5.3 Tractament de les dades de trànsit

Tenint ja al nostre abast les dades proporcionades pel SCT, hem de realitzar una anàlisi a consciència de les dades. Aquestes han de ser tractades de la millor manera possible per a conèixer com hem de fer-les servir, per a una millor predicció quan s'introdueixin dades futures de les quals no hi ha hagut entrenament.

El SCT ens ha proporcionat les dades d'intensitat horària de vehicles de l'Anell 0 dels anys 2017 al 2019, i de l'any 2020 ens ha proporcionat totes les dades validades fins al 30 d'abril del 2020, els 4 primers mesos de l'any 2020.

Com a primer pas de tractament de les dades, procedim a ajuntar totes les dades disponibles de l'any 2017 fins al 2019, què es convertirà en el nostre *dataset* amb el qual podrem modelar la predicció.

Amb aquest fet analitzarem totes les columnes, què hem esmentat prèviament en l'apartat de les característiques del *dataset* de trànsit, per a conèixer quines característiques seran necessàries per al nostre model.

En aquest primer pas, passem de tenir 47 columnes a tenir 20 columnes, on eliminem les següents columnes:

- *tipEquip, ane, obj, tipDat, dat, vel, ocu, com, err, agrTem, min, tipRes, patOcu, patCom, f1, f2, f3, f4, f5, f6, f7, f8, f9, f10, f11, f13, camARes.*

El motiu d'eliminar aquestes columnes són diversos com:

- No variació de les dades en columnes.
- Columnes redundants.
- Columnes insignificants, sense informació valuosa.
- Dades amb errors.

Amb el canvi realitzat, afegim les següents columnes amb etiquetes al nostre *dataset*:

- Característiques de les columnes afegides: (Taula 9)

Taula 9: Taula amb els atributs de les dades afegides i les seves característiques

CARACTERÍSTIQUES DE COLUMNES AFEGIDES	
Dades atributs	Característica de dada
Franja horària ZBE (ZBE_franja)	Comprovar si les dades es troben dins de la franja horària del ZBE.
Activació ZBE (ZBE_activat)	Comprovar si el pla ZBE es troba activat o no durant l'any.

Font: Elaboració pròpia

Amb aquest primer pas realitzat, on eliminem i afegim dades al nostre *dataset*, passem a la neteja d'aquest, que es coneix com a *Data Cleaning*.

En aquest procés de neteja, hem d'assegurar-nos que a cada columna no existeixen dades mal introduïdes en la BBDD, que puguin provocar una desviació dels resultats finals de model. Posem com a exemple:

- A la columna *via* que estigui escrit "A2", en comptes de "A-2".
- A la columna *via* que estigui escrit "A.2", en comptes de "A-2".
- A la columna *via* que estigui escrit "A 2", en comptes de "A-2".

En el nostre cas, ja que aquesta taula no rep cap classe d'informació per part d'humans, sinó que totes les dades introduïdes són pròpies dels equips de detecció i després validades per scripts, no s'ha de realitzar cap neteja en el nostre *dataset*.

Però el que si realitzem és un canvi en l'etiquetat per a la columna *tipDia*. En aquest canvi diferenciem els dies de la setmana i els festius de la següent manera: (Taula 10)

Taula 10: Taula amb els canvis a la columna *tipDia*

tipDia original	tipDia canviat
dill-dij	dilluns
div	dimarts
dis	dimecres
diu	dijous
	divendres
	dissabte
	diumenge
	festiu

Font: Elaboració pròpia

Amb això, ja tenim a punt les dades per a començar amb la preparació del model d'IA.

5.4 Construcció del Model de Predicció

Ara si podem procedir amb la construcció del nostre model de ML. Aquest apartat consta de diverses etapes fins a aconseguir el model més acurat possible i ara procedirem a explicar les fases que hem passat fins a arribar al nostre objectiu.

5.4.1 Esquema d'algorismes

Ja coneixem que ens enfrontem a un problema de regressió, amb el qual hem d'estimar una quantitat respecte d'unes dades reals prèvies i que utilitzem com a objectiu.

Ara podem començar a investigar quins tipus d'algorismes podrem fer servir per a la confecció del nostre Model. En el nostre cas, després d'una sèrie d'anàlisis, hem determinat 6 algorismes, esmentats prèviament en aquest treball, i són els següents:

- Regressió Lineal.
- Regressió amb Vectors Suport.
- Regressió amb K-Veïns.
- Regressió amb Xarxes Neuronals.
- Regressió amb Boscos Aleatoris.
- Regressió amb Potenciació de Gradient.

A tots aquests algorismes, els hi aplicarem a un model d'aprenentatge supervisat, ja que volem validar si els resultats tenen certa coherència.

Amb els algorismes ja determinats, seguim amb el següent apartat per a conèixer en quin tipus d'entorn serà realitzat el nostre model predictiu.

5.4.2 Entorn del Model

En aquest apartat donarem a conèixer quins tipus d'entorn envoltarà el nostre model i donarem les raons per les quals utilitzem un entorn i no un altre.

a) Plataforma o eines de desenvolupament?

En aquest primer apartat determinem si per al nostre model, farem ús d'una plataforma amb software de ML o bé farem ús de les diferents eines gratuïtes de desenvolupament que existeixen en l'actualitat.

- a. Plataformes: Després d'analitzar les diferents plataformes amb software de ML proporcionades per Google, Amazon i Microsoft, obtenim una sèrie de conclusions:

- Es tracten de plataformes destinades a usuaris que necessiten posar un model d'IA en producció, de manera molt ràpida i estructurada.
 - Disposen de diferents tipus de subscripcions depenent de les hores de computació i el hardware disponible que necessiti l'usuari.
 - Totes les plataformes ofereixen una capa gratuïta, però condicionada a un límit d'hores i de hardware disponible per a la computació que es necessiten per als entrenaments dels models.
 - Suposa que totes les dades, des del registre per a utilitzar la plataforma, seran monitorades en certa manera pels fabricants.
 - No necessitat de disposar d'un equip informàtic potent, ja que els càlculs computacionals es realitzen en el *cloud* i a més són escalables, per tant suposen un gran punt a favor per als models que necessiten manipular moltes dades.
- b. Eines de Desenvolupament: Després d'analitzar les diferents eines de desenvolupament que existeixen de manera gratuïta, per a realitzar models de ML, obtenim una sèrie de conclusions:
- Es tracten d'eines amb una forta comunitat d'usuaris que s'ajuden de manera mútua en cas de necessitat d'ajuda.
 - Existeixen molts entorns de desenvolupament segons el tipus de llenguatge que vols utilitzar per a programar el model.
 - Els principals llenguatges de programació a utilitzar en els entorns de desenvolupaments, són fàcilment comprensibles amb pràctica.
 - Existeixen una enorme quantitat de llibreries destinades a la construcció dels models d'IA.
 - Programari gratuït, de codi obert i sense limitacions en la seva gran majoria, que permet conèixer amb exactitud el que aplica cada llibreria.
 - Necessitat d'un equip informàtic potent en cas de models amb quantitats grans de dades.
 - Necessitat de coneixement dels llenguatges de programació, dels entorns de desenvolupament i de les distintes llibreries necessàries per a modelar.

b) Elecció de l'entorn i les seves característiques

En aquest apartat donarem a conèixer quina elecció es realitza entorn del model i quines característiques disposa aquest.

- Es consideren diversos aspectes com:
 - Aprenentatge de tots els conceptes i eines per a realitzar models.
 - Comunitat d'usuaris i privacitat del projecte i de les dades.
 - Projecte ha de ser gratuït i sense limitacions.
 - Equip informàtic potent propi.
 - Llenguatges de programació amb llibreries per a tota mena de problemes.

Finalment amb aquests aclariments, es decideix utilitzar eines de desenvolupament existents per a realitzar el prototip d'IA, envers utilitzar plataformes amb software.

- a. Característiques Software: Ara descriurem quines característiques té el nostre entorn des del punt de vista del software:

- Sistema operatiu → Windows 10 Pro v.1909 64 bits
- Llenguatge de programació → Python v.3.7.6 64 bits
- Distribució → Anaconda v.2020.02 64 bits
- Entorn de desenvolupament → Spyder v.4.0.1
- Llibreries → Pandas v.1.0.1, Numpy v.1.18.1, Matplotlib v.3.1.3, Scikit-learn v.0.22.1

- b. Característiques Hardware: Ara descriurem quines característiques té el nostre entorn des del punt de vista del Hardware:

- CPU → Intel(R) Core(TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz
- Cores CPU → 6 nuclis i 12 *threads*
- Memòria RAM del sistema → 16 GB
- GPU → NVIDIA GeForce GTX 1070 120 Hz
- Memòria RAM GPU → 8 GB
- Memòria SSD del sistema → 250 GB

5.4.3 Entrenament

Finalment ja hi disposem de tots els elements necessaris i es comença amb l'entrenament dels diferents models que hem de testear.

a) Importació de les dades

Primerament importem les dades, què es convertirà en la nostra instància i ens assegurem que es carreguen les dades correctament.

Quan ja tenim la importació realitzada ens adonem que existeix un problema, i és que en el nostre cas estem tractant problemes de regressió, i per tant estimem quantitats.

Però a la nostra instància apareixen columnes en format *object*, i com ens enfrontem a un problema de regressió, no valdrien per a crear el nostre model. (Figura 39)

```
In [2]: dataset.shape
Out[2]: (525500, 22)

In [3]: dataset.dtypes
Out[3]:
SECTION_CODE    int64
ali              object
via              object
pk              float64
pkSegMin         float64
pkSegMax         float64
sen              object
senCreDec        object
nCar             int64
velPlaca         int64
velFFSec         int64
dia              int64
mes              int64
Any              int64
hor              int64
tipDia           object
ZBE_franja       object
ZBE_activat      object
int              int64
patInt           int64
patVel           float64
patErr           float64
```

Figura 39: Característiques de la instància i les seves dades

Font: Elaboració pròpia

Per tant hem de realitzar una transformació d'aquelles columnes que tenen aquest format i transformar-les a un format *int* més propi per a problemes de regressió.

b) Transformació de les dades

En aquest procés de transformació de dades, creem diferents *arrays* per a aquestes columnes a transformar, i els hi assignem un valor numèric que les llibreries podran reconèixer de millor manera.

I finalment amb els *arrays* creats, es procedeix a canviar les dades en les columnes de la instància que ens permetrà treballar de millor manera. (Figura 40)

```
#Transformem les variables string en números per a millors resultats de l'Entrenament
ali={'2-SMD-2 A2':1,'2-SMD-1 A2':2,'1-SMD-2 B20':3,'1-SMD-1 B20':4,'7-SMD-4 B23':5,
     '7-SMD-3 B23':6,'4-SMD-2 TAB C16':7,'4-SMD-1 TAB C16':8,'1-SMD-2 C17':9,'1-SMD-1 C17':10,
     '4-SMD-2 C31':11,'4-SMD-1 C31':12,'10-SMD-4 C31S':13,'10-SMD-3 C31S':14,'1-SMD-2 B20 Sud':15,
     '1-SMD-1 B20 Sud':16,'5-SMD-2 C33':17,'5-SMD-1 C33':18,'5-SMD-6 C58':19,'5-SMD-1 C58':20}

via={'A-2':1,'B-20':2,'B-23':3,'C-16 TAB':4,'C-17':5,'C-31':6,'C-31S':7,'C-32':8,'C-33':9,'C-58':10}

sen={'ent':1,'sal':2}

senCreDec={'cre':1,'dec':2}

tipDia={'dilluns':1,'dimarts':2,'dimecres':3,'dijous':4,
        'divendres':5,'dissabte':6,'diumenge':7,'festiu':8}

ZBE={'NO':1,'SI':2}

#Reemplacem les variables string pels números en el dataset
dataset.ali=[ali[item] for item in dataset.ali]
dataset.via=[via[item] for item in dataset.via]
dataset.sen=[sen[item] for item in dataset.sen]
dataset.senCreDec=[senCreDec[item] for item in dataset.senCreDec]
dataset.tipDia=[tipDia[item] for item in dataset.tipDia]
dataset.ZBE_franja=[ZBE[item] for item in dataset.ZBE_franja]
dataset.ZBE_activat=[ZBE[item] for item in dataset.ZBE_activat]
```

Figura 40: Captura de l'elaboració dels *arrays* i transformació de les dades

Font: Elaboració pròpia

Finalitzada aquesta part, ja disposem de tots els elements en un format idoni per a poder continuar amb el model de regressió.

c) Partició de les dades

Per a poder realitzar un bon entrenament i començar a modelar el nostre model, és ideal separar el nostre *dataset* en 2 parts, una amb la qual entrenarem el model i una segona amb la qual predir a través del model entrenat.

A més prèviament abans de procedir a realitzar la partició, haurem de separar la variable objectiu, què volem predir. En el nostre cas es tracta de la columna *int*, pertanyent a la intensitat de vehicles. Per tant ens queda com:

- Y → Variable objectiu a predir (*int*)
- X → Variables de les quals depèn el nostre objectiu.

Amb els conceptes d'IA assimilats i l'objectiu ja definit, separarem el nostre model segons les recomanacions de diversos experts, en un 70 % destinat a l'entrenament i el 30 % restant per a la predicció, amb el qual tindrem un punt de partida. (Figura 41)

```
#Es realitza el Test_Train_Split amb un 70% de dades per Entrenament i 30% per Testing
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.30, random_state=0)

X_train.shape
(367850, 21)
y_train.shape
(367850,)
X_test.shape
(157650, 21)
y_test.shape
(157650,)
```

Figura 41: Partició de les dades entre entrenament i predicció

Font: Elaboració pròpia

I finalment amb la partició ja realitzada per als fragments X i Y del *dataset*, a continuació comença la part d'ajustament del model.

d) Ajustament i Predicció

En aquest apartat comença la part d'entrenament del model, on es produirà l'ajustament del model. (Figura 42)

```
#Es crea el model de regressio lineal transformat ajustat (LinearRegression)
model_encobert=LinearRegression()
model=model_encobert.fit(X_train,y_train)
```

Figura 42: Entrenament del model segons algorisme utilitzat

Font: Elaboració pròpia

Posteriorment amb el model ja entrenat, es realitzarà una simulació de prediccions de la partició destinada a la predicció. (Figura 43)

```
#Es realitza la predicció pel Testing del Model transformat i s'arrodonen els valors
y_pred = model_encobert.predict(X_test)
y_pred=np.round(y_pred)
```

Figura 43: Es realitza predicció de les dades de *test* i s'arrodoneixen

Font: Elaboració pròpia

Ja tenim la predicció realitzada, què arrodonim a números sencers, ja que les prediccions que ens donen no són valors sencers, sinó amb decimals.

e) Avaluació de l'Entrenament i Testing

Amb les prediccions ja realitzades, finalment és el moment de conèixer quin tipus de mètriques obtenim dels resultats de l'entrenament i les seves posteriors prediccions, segons el tipus d'algorisme que s'ha utilitzat.

Com que estem davant d'un problema de regressió, hem d'utilitzar mètriques per regressió. Les mètriques a utilitzar per a avaluar el nostre model seran les següents:

- Error R^2 .
- Error Absolut Mig.
- Error quadràtic mig.
- Arrel de l'error quadràtic mig.

I a més afegirem la següent variable, com a paràmetre per a conèixer el rendiment del model amb el nostre hardware:

- Temps d'execució del codi del model.

A continuació, mostrem els resultats que hem obtingut, primerament amb el *dataset* d'Entrenament i totes les seves mètriques d'avaluació: (Taula 11)

Taula 11: Taula amb les mètriques de l'Entrenament

AVALUACIÓ DE L'ENTRENAMENT					
	Error R2	Err Abs Mig	Err Qua Mig	Arr Err Qua Mig	Temps Execució
Reg Lineal	95,4316%	182,4570	114.234,2394	337,9856	0,2043
Reg Vect Sup	94,9526%	200,5603	126.210,1865	355,2607	100,5092
Reg K-Veins	96,5982%	151,1616	85.062,3829	291,6546	9,6751
Reg Xar Neu	94,8964%	220,4353	127.617,0567	357,2353	26,7074
Reg Bos Ale	99,6282%	52,6896	9.296,2790	96,4206	248,8755
Reg Pot Gra	96,7100%	160,1149	82.267,7324	286,8235	55,3194

Font: Elaboració pròpia

Finalment mostrem els resultats que hem obtingut, amb el *dataset* destinat a testejar i realitzar les prediccions i totes les seves mètriques d'avaluació: (Taula 12)

Taula 12: Taula amb les mètriques del Testing

AVALUACIÓ DEL TESTING					
	Error R2	Error Abs Mig	Error Qua Mig	Arr Error Qua Mig	Temps Execució
Reg Lineal	95,3935%	183,6286	115.904,5387	340,4476	0,0312
Reg Vect Sup	94,9088%	201,8050	128.101,8446	357,9132	0,0156
Reg K-Veïns	94,7625%	187,5972	131.781,6660	363,0174	10,0852
Reg Xar Neu	94,8580%	221,6419	129.378,6910	359,6925	0,5927
Reg Bos Ale	97,3163%	142,4118	67.525,7786	259,8572	6,7870
Reg Pot Gra	96,6983%	161,1290	83.074,3855	288,2263	0,2733

Font: Elaboració pròpia

Podem veure que el model que millor resultat ens ha donat amb diferència ha estat l'algorisme de Boscos Aleatoris, mentre que els pitjors models han estat amb els algorismes de K-Veïns i Xarxes Neuronals.

Aquests resultats, però, no són definitius, ja que podem millorar els resultats començant el procés d'optimització que comentarem en el següent apartat.

f) Optimització del model

Com hem vist anteriorment, hem obtingut uns resultats amb uns models estàndard en totes les seves variants, i ara per tant hem d'intentar trobar de quina manera podem millorar l'ajustament del nostre model.

En aquest cas dividim totes les optimitzacions, segons l'apartat que ha estat millorat i optimitzat:

- Dades: Hem observat diferents mostres i hem comprovat que tot i que hem realitzat una bona diferenciació entre els dies de la setmana i festius, segons el festiu, les intensitats de vehicles canvien de gran manera.

Per tant per a millorar aquesta diferenciació, canviem les etiquetes de la columna *tipDia*, passant a ser 17 etiquetes, on 16 són etiquetes corresponents als dies festius a Barcelona, i una etiqueta on simplement indiquem que es tracta d'un dia normal sense festiu. Els canvis queden així: (Taula 13)

Taula 13: Canvis en la columna *tipDia*

tipDia canviat	tipDia optimitzat
dilluns	any nou
dimarts	reis
dimecres	divendres sant
dijous	dilluns pascua
divendres	treballador
dissabte	pascua granada
diumenge	sant joan
festiu	assumpcio
	diada
	merce
	hispanitat
	sants
	constitucio
	concepcio
	nadal
	sant esteve
	normal

Font: Elaboració pròpia

I posteriorment agreguem una columna anomenada *setDia*, on posarem els dies de la setmana (dilluns a diumenge), què estaven prèviament en la columna *tipDia*.

A més com a complement, hem pensat que existeixen diverses variables que poden afectar el nombre de vehicles en carretera. I hem pensat què la meteorologia és una variable que podria millorar la precisió en el nostre model.

I des del SCT ens han proporcionat dades meteorològiques en les diverses vies i també previsions futures per a estimacions futures, amb el qual treballen des del Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT), per a la predicció del clima a Catalunya.

Afegirem al nostre *dataset* les columnes meteorològiques mitjançant, una unió quan coincideixen el dia i la via. Les columnes afegides són: (Taula 14)

Taula 14: Columnes meteorològiques afegides en el *dataset*

CARACTERÍSTIQUES DE COLUMNES AFEGIDES	
Dades atributs	Característica de dada
Temperatura màxima del dia (TEMP_MAX)	Temperatura màxima registrada per dia en la zona d'estudi.
Temperatura mínima del dia (TEMP_MIN)	Temperatura mínima registrada per dia en la zona d'estudi.
Probabilitat de calamarsa pel matí (PROB_CALA_MATI)	Probabilitat de què es produeixi calamarsa en horari de matí a la zona.
Probabilitat de calamarsa per la tarda (PROB_CALA_TARDA)	Probabilitat de què es produeixi calamarsa en horari de tarda a la zona.
Previsió climatologia pel matí (pre_Mati)	Previsió del tipus de clima què hi haurà pel matí a la zona.
Previsió climatologia per la tarda (pre_Tarda)	Previsió del tipus de clima què hi haurà per la tarda a la zona.

Font: Elaboració pròpia

Amb aquests canvis finalment tenim ara 29 columnes totals en el nostre *dataset*, què ens ajudaren a millorar la qualitat del model que estem programant. Però abans de seguir amb aquesta millora haurem de realitzar una nova transformació per a aquestes dades.

- b. Transformació: Ara que hem millorat i ampliat les nostres dades, hem de transformar aquelles noves columnes que hem afegit i què es troben en format *object*, al format idoni per a regressió. Amb els *arrays* creats, es procedeix a canviar les dades en les columnes afegides a la instància. (Figura 44)

```
setDia={'dilluns':1,'dimarts':2,'dimecres':3,'dijous':4,'divendres':5,'dissabte':6,'diumenge':7}

tipDia={'any nou':1,'reis':2,'divendres sant':3,'dilluns pascua':4,'treballador':5,
        'pascua granada':6,'sant joan':7,'assumpcio':8,'diada':9,'merce':10,'hispanitat':11,
        'sants':12,'constitucio':13,'concepcio':14,'nadal':15,'sant esteve':16,'normal':17}

previsio={'aiguaneu':1,'boira':2,'calitja':3,'cobert':4,'entre mig i molt ennuvolat':5,
          'entre poc i mig ennuvolat':6,'molt cobert':7,'neu feble':8,'plugim':9,'pluja':10,
          'ruixat':11,'sol':12,'sol i nuvols alts':13,'tempesta':14,'xafec':15,
          'xafec amb tempesta':16,'tempesta calamarsa':17}

dataset.setDia=[setDia[item] for item in dataset.setDia]
dataset.pre_Mati=[previsio[item] for item in dataset.pre_Mati]
dataset.pre_Tarda=[previsio[item] for item in dataset.pre_Tarda]
```

Figura 44: Arrays i transformació de les columnes a format idoni

Font: Elaboració pròpia

- c. Normalització de dades: Ara què hem millorat i ampliat el nostre *dataset*, procedim a normalitzar les dades, que ara són numèriques, per a realitzar càlculs on existeixen variàncies no constants, com en el nostre estudi.

En aquest cas, realitzem una sèrie d'instruccions a través d'un *pipeline*, per a transformar les dades per a minimitzar la variància i l'asimetria del nostre model. És a dir, per a ajustar-ho el màxim possible a la línia de regressió perfecta. Fem servir el mètode *PowerTransformer* de les llibreries de Scikit-learn per a la transformació.

I finalment creem un model que invertirà la transformació de les dades durant l'entrenament, i ens hi donarà els resultats desitjats: (Figura 45)

```
# Es prepara el Pipeline de Transformacions per a l'entrada d'informació
pipeline = Pipeline(steps=[('power', PowerTransformer()), ('model', LinearRegression(
    fit_intercept=False, n_jobs=-1))])

# Es defineix el Contenedor de l'Objectiu per Regressió transformat
model_encobert = TransformedTargetRegressor(regressor=pipeline, transformer=PowerTransformer())
```

Figura 45: Normalització de les dades d'entrada i sortida

Font: Elaboració pròpia

Destaquem que aquest preprocessament de les dades, necessita una capacitat de càlcul molt gran, degut a les grans quantitats d'informació i càlculs que ha de realitzar.

Per aquest motiu, amb el nostre equip informàtic, no es podia realitzar la transformació en l'algorisme de K-Veïns, ja que no ho podia executar, perquè és necessari més capacitat de còmput.

- d. Partició: Després de normalitzar les dades de la instància, procedim a millorar la partició de les dades. Prèviament teníem un repartiment de 70 % per a l'Entrenament i un 30 % per al Testing de la Predicció. Doncs ara optem per aportar més dades a l'Entrenament, perquè tingui més informació per a una millor predicció. Per tant realitzem un nou repartiment de 80 % per a l'Entrenament i un 20 % per al Testing. A més seguidament també canviem les combinacions aleatòries (*random_state*) perquè realitzi 20 combinacions. (Figura 46)

```
#Es realitza el Test_Train_Split amb un 80% de dades per Entrenament i 20% per Testing
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.20, random_state=20)
```

Figura 46: Arrays i transformació de les columnes a format idoni

Font: Elaboració pròpia

e. Parametrització d'algorismes: Entrem a la part final de la nostra optimització, què consisteix a buscar els millors paràmetres possibles per a tots els algorismes que utilitzem. Ara indicarem els canvis en els paràmetres que utilitzarem, respecte als paràmetres de sèrie, en cerca de la millor solució possible:

- i. *Regressió Lineal* → (fit_intercept = False, n_jobs = -1)
- ii. *Regressió amb Vectors Suport* → (tol = 1e-6, dual = False, fit_intercept = False, loss = squared_epsilon_insensitive)
- iii. *Regressió amb K-Veïns* → (weights = distance, algorithm = ball_tree, p = 1, n_jobs = -1)
- iv. *Regressió amb Xarxes Neuronals* → (hidden_layer_sizes = (100,100,100), activation = relu, solver = adam, alpha = 0.000001, learning_rate = adaptive)
- v. *Regressió amb Boscos Aleatoris* → (n_estimators = 200, max_features = 'log2', bootstrap = False, n_jobs = -1)
- vi. *Regressió amb Potenciació de Gradient* → (learning_rate = 1.0, n_estimators = 1000)

Amb aquests paràmetres ja establerts, finalment es dona per finalitzat el nostre procés d'optimització i realitzarem l'avaluació final.

g) Avaluació final dels models optimitzats

Amb les optimitzacions ja implementades, finalment realitzem l'última avaluació amb la qual decidirem quin tipus de model serà el millor per a realitzar el nostre objectiu de predir vehicles amb la millor precisió possible.

Utilitzant les mètriques prèvies per a les avaluacions temporals de l'entrenament, obtenim els següents resultats per als nous models optimitzats: (Taula 15)

Taula 15: Taula amb les mètriques d'entrenament dels models optimitzats

AVALUACIÓ OPTIMITZADA DE L'ENTRENAMENT					
	Error R2	Err Abs Mig	Err Qua Mig	Arr Err Qua Mig	Temps Execució
Reg Lineal	96,1396%	170,4533	96.612,3863	310,8253	22,9966
Reg Vect Sup	96,1396%	170,4534	96.612,4154	310,8254	24,7839
Reg K-Veins	100%	0	0	0	13,6081
Reg Xar Neu	98,2147%	124,8202	44.680,1391	211,3768	164,1095
Reg Bos Ale	99,9999%	0,0013	0,0001	0,0114	72,8007
Reg Pot Gra	98,0512%	127,7094	48.772,0304	220,8439	823,3400

Font: Elaboració pròpia

I també realitzem el mateix per al testing, obtenint els següents resultats per als nous models optimitzats: (Taula 16)

Taula 16: Taula amb les mètriques del testing dels models optimitzats

AVALUACIÓ OPTIMITZADA DEL TESTING					
	Error R2	Error Abs Mig	Error Qua Mig	Arr Error Qua Mig	Temps Execució
Reg Lineal	96,2493%	170,3300	94.342,9402	307,1530	0,1552
Reg Vect Sup	96,2492%	170,3304	94.343,3916	307,1537	0,1496
Reg K-Veins	95,3171%	174,2477	117.788,5713	343,2034	6,0160
Reg Xar Neu	98,0576%	130,7732	48.856,5411	221,0352	0,7161
Reg Bos Ale	97,9717%	127,5413	51.017,5201	225,8706	3,0981
Reg Pot Gra	97,9004%	131,9910	52.810,5622	229,8055	1,5231

Font: Elaboració pròpia

Com podem comprovar, en alguns models s'aconsegueix una gran millora en les mètriques de validació. Per a mirar-ho d'una manera més gràfica utilitzarem uns gràfics del model de Xarxes Neuronals, el menys precís durant l'entrenament inicial i el millor optimitzat, perquè es pugui veure fins a quin punt es pot millorar un model amb una correcta optimització.

- Model de Xarxes Neuronals estàndard: (Figura 47)

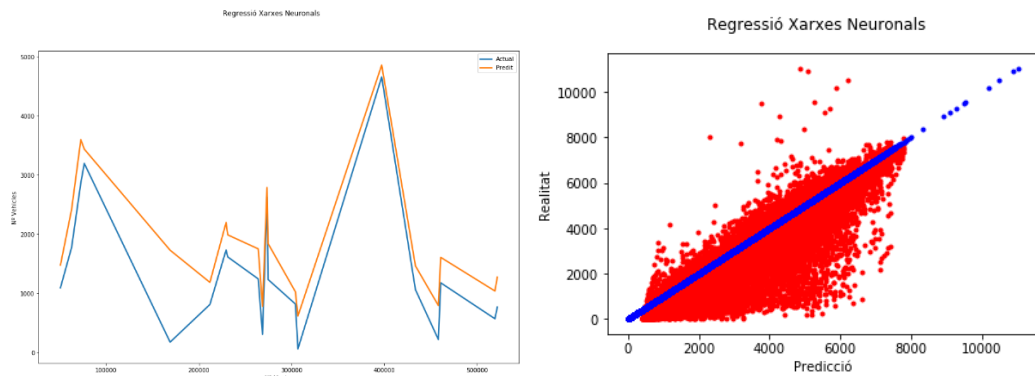


Figura 47: Gràfiques del model estàndard

Font: Elaboració pròpia

- Model de Xarxes Neuronals optimitzat: (Figura 48)

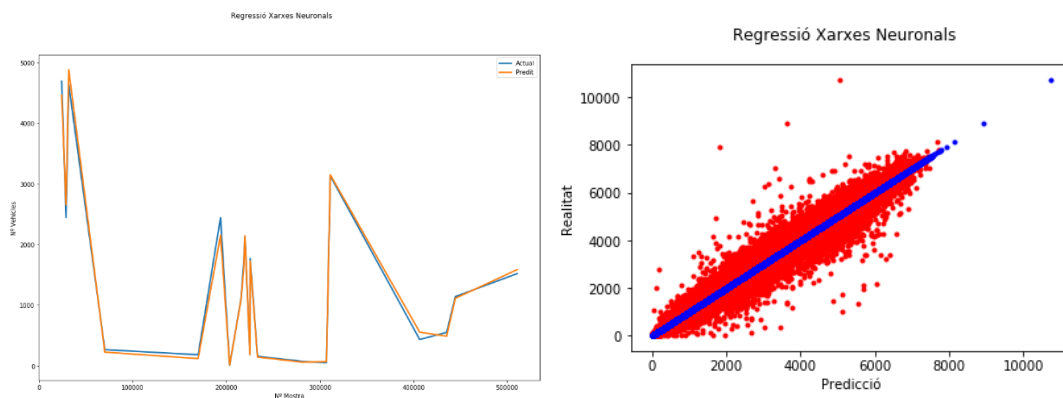


Figura 48: Gràfiques del model optimitzat

Font: Elaboració pròpia

Es pot veure com en la gràfica esquerra, les dades predictives s'ajusten més a les dades reals, i finalment en la gràfica dreta veiem una disminució de la dispersió important, ajustant-se molt més a la línia perfecta de regressió.

Els 3 algorismes amb millors resultats de predicció respecte a la resta són:

- Xarxes Neuronals
- Boscos Aleatoris
- Potenciació de Gradient

Aquests seran els 3 models per a fer la simulació d'estimació de l'any 2020.

h) Elecció final de l'algorisme per al model

Finalment en aquest apartat, acabem amb la construcció del model d'IA. En l'elecció final de l'algorisme, realitzarem l'estimació de les dades dels mesos de gener i febrer de l'any 2020.

Només utilitzem les dades de gener i febrer, ja que a partir del mes de març per la situació excepcional de la pandèmia de la COVID-19, s'ha reduït de manera molt dràstica el trànsit arreu del món.

Es tracta d'una simulació molt bona, ja que aquestes dades de l'any 2020, no han estat introduïdes mai a dins del nostre model i per tant ja es posaren en producció, predient noves dades que mai han vist.

A més el pla ZBE, què tenia previst entrar l'1 de gener de 2020, va endarrerir la posada en marxa de les seves sancions, fins a l'1 d'abril de 2020, per tant podem dir que les dades d'inici d'aquest any 2020, no estan penalitzades encara per la ZBE, encara què la pandèmia hagués parat, de moment l'entrada en vigor del pla ZBE està parada de manera indefinida.

A continuació detallem uns petits canvis en els models de validació respecte a l'esmentat prèviament:

- a. Partició: Prèviament en els nostres models optimitzats teníem un repartiment de 80 % per a l'Entrenament i un 20 % per al Testing de la Predicció. Ara que ja posem el nostre model en producció totalment, deixem de necessitar realitzar un entrenament. En aquest cas llavors no farem una partició del nostre *dataset* de 2017-2019, sinó que l'utilitzarem sencer, per ajustar el model.
- b. Importació de dades: Com hem comentat prèviament, el *dataset* de 2017-2019 sencer serà utilitzat per a ajustar el model, per tant necessitem predir unes dades, i en aquest cas importarem un nou *dataset* que pertany als mesos de gener i febrer del 2020, i que predirem.

- c. Parametrització: En els casos d'aquests 3 algorismes, no s'incloua el paràmetre *random_state*, perquè ja estava aplicat en la partició. Però ara com no realitzem partició, apliquem aquest canvi de paràmetre en els 3 algorismes per a millorar la precisió.

- *Random_State* → 20

Aquest paràmetre ens permet establir, que s'utilitzaren 20 particions ordenades al *dataset* destinat a l'entrenament i a testejar. El fet d'ordenar les dades a utilitzar, ens ajuda a poder comparar els models entre sí, ja que sabem que s'utilitzaren les mateixes dades per a tots els models.

Finalment realitzem la simulació i estimació de les dades amb els 3 models elegits. I els resultats són els següents durant l'ajustament: (Taula 17)

Taula 17: Taula amb les mètriques de l'ajustament

AVALUACIÓ DE L'AJUSTAMENT					
	Error R2	Err Abs Mig	Err Qua Mig	Arr Err Qua Mig	Temps Execució
Reg Xar Neu	98,2741%	123,0155	43.238,1621	207,9379	205,4691
Reg Bos Ale	99,9999%	0,0014	0,0001	0,0121	72,7272
Reg Pot Gra	98,0363%	127,7693	49.194,1331	221,7975	850,8022

Font: Elaboració pròpia

I finalment els resultats de la simulació de l'any 2020 pels mesos de Gener i Febrer són: (Taula 18)

Taula 18: Taula amb les mètriques finals de l'estimació de Gener-Febrer 2020

RESULTATS SIMULACIÓ GENER-FEBRER 2020					
	Error R2	Error Abs Mig	Error Qua Mig	Arr Error Qua Mig	Temps Execució
Reg Xar Neu	96,7978%	163,7534	80.143,2417	283,0958	0,2104
Reg Bos Ale	96,8126%	161,4145	79.774,0920	282,4431	0,7190
Reg Pot Gra	97,5041%	143,5300	62.465,9255	249,9318	0,2494

Font: Elaboració pròpia

Com podem observar existeixen diferències entre els 3 models tant en l'ajustament com en la posterior predicció, i per tant hem d'analitzar quin pot ser el millor model amb les mètriques obtingudes.

Durant l'ajustament podem observar que el model que més s'ajusta a una possible perfecció, és sense cap mena de dubte l'algorisme de Boscos Aleatoris.

A més és també el més ràpid, realitzant els càlculs fins a gairebé 12 vegades més ràpid que l'algorisme de Potenciació de Gradient, i 3 vegades més ràpid que el de Xarxes Neuronals.

Però durant la simulació ja pròpia pels mesos de gener i febrer de l'any 2020, podem observar com l'algorisme de Potenciació de Gradient, acaba realitzant un ajustament més bo que la resta d'algorismes.

S'observa com mentre que la resta d'algorismes, aconsegueixen una precisió menor respecte al seu ajustament, la Potenciació de Gradient no sofreix una gran desviació, convertint-se en un algorisme bastant robust i més estable que la resta d'algorismes.

L'únic punt en contra d'aquest algorisme, és el fet que necessita un temps molt superior que la resta, per a realitzar la predicció.

Però en el nostre cas, com què no estem buscant l'algorisme amb millor rendiment, sinó el més robust, estable i precís, es decideix que l'algorisme triat per a treballar amb ell, serà l'algorisme de Potenciació de Gradient.

5.5 Estimacions de les dades de l'any 2020

Ja disposem del nostre model triat i ara només ens queda realitzar les estimacions de l'any 2020 fins al dia 30 d'abril del 2020, i ho desarem per a després ser utilitzat en els nostres càlculs d'emissions que anomenarem en els següents apartats.

Realitzem una comparació entre les nostres dades estimades i les dades reals, però sense tenir gran rellevància, degut a l'aparició de la pandèmia de la COVID-19 esmentada prèviament, què canvia per complet el panorama del trànsit de vehicles: (Taula 19)

Taula 19: Taula amb les mètriques de comparació de l'any 2020

RESULTATS ESTIMACIÓ DADES 2020					
	Error R2	Error Abs Mig	Error Qua Mig	Arr Error Qua Mig	Temps Execució
Reg Pot Gra	88,0088%	268,7292	266.902,3237	516,6259	0,8929

Font: Elaboració pròpia

I també mostrem dades gràfiques de comparació per aquest any 2020: (Figura 49)

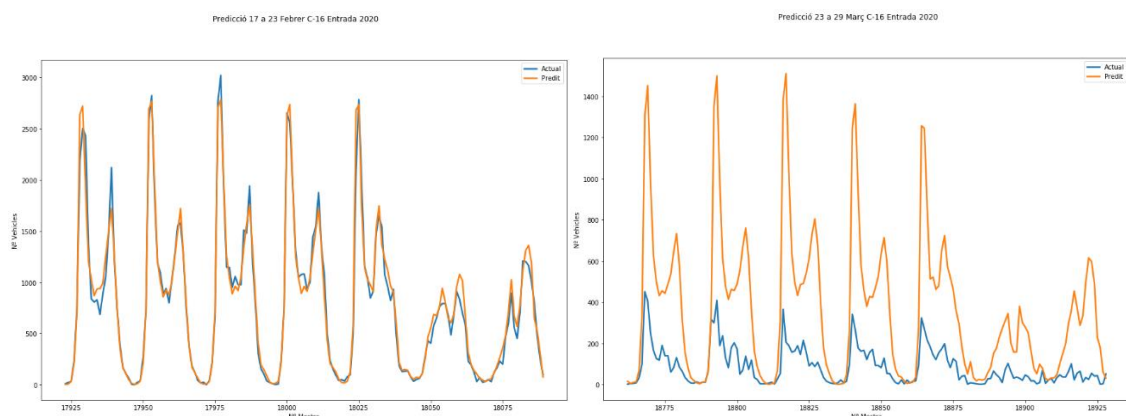


Figura 49: Gràfiques de comparació de l'any 2020

Font: Elaboració pròpia

Hem seleccionat la setmana del 17 al 23 de Febrer i del 23 a 29 de Març a la via de la C-16 en sentit entrada. Com hi podem observar clarament, el nostre model de predicció realitza una bona aproximació abans de l'aparició de la pandèmia, però ja amb la declaració de l'estat d'alarma, podem observar com el nostre model realitza prediccions, però l'aparició de la pandèmia distorsiona per complet les simulacions.

Amb això acabem la part de la creació del nostre prototip de predicció amb tecnologia IA, per a la intensitat de vehicles als accessos de Barcelona.

6 ESTIMACIÓ I ESTUDI D'EMISSIONS

6.1 Tractament de les dades d'emissions

Ara comencem la part final de la problemàtica on calcularem les emissions estimades de l'any 2020 gràcies al nostre model i les compararem amb les emissions reals generades en l'any 2020.

Per començar amb aquest tractament de dades d'emissions, començarem explicant des de quin punt de vista, tractarem les dades d'emissions.

A Barcelona s'implementarà el pla ZBE, que consisteix en les restriccions de vehicles en horari comercial amb la utilització d'etiquetes mediambientals, i per tant enfocarem el tractament de les dades, des del punt de vista de les etiquetes.

Tenint ja al nostre abast les dades proporcionades pel VCA, hem de realitzar una anàlisi a consciència de les dades i tractar-les de la millor manera possible per a eliminar tota la informació que no sigui necessària i conèixer bé quina és la informació que necessitem i com la volem enfocar.

Com a primer pas, hem descarregat tots els *datasets* que provenen del VCA, referents als vehicles Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 i els recents Euro 6. Això vol dir que, tenim informacions d'emissions de vehicles des de l'any 2000 fins a l'actual 2020.

6.1.1 Eliminació de columnes

Com havíem comentat prèviament en l'apartat de dades d'emissions, *dades recol·lectades*, tenim una sèrie de columnes que no necessitarem per al nostre estudi.

En aquest primer pas, passem de tenir 45 columnes a tenir 12 columnes, on eliminem les següents columnes:

- *Transmission, Engine Power (PS), Engine Power (Kw), wh/km, Maximum range (Miles), Electricity cost, Total cost / 10000 miles, Diesel VED Supplement, WLTP Imperial Low, WLTP Imperial Medium, WLTP Imperial High, WLTP Imperial Extra High, WLTP Imperial Combined, WLTP Imperial Combined (Weighted), WLTP Metric Low, WLTP Metric Medium, WLTP Metric High, WLTP Metric*

Extra High, WLTP Metric Combined, WLTP Metric Combined (Weighted), WLTP CO2 Weighted, WLTP Total Cost 10000 Miles, Equivalent All Electric Range Miles, Equivalent All Electric Range KM, Electric Range City Miles, Electric Range City Km, Emissions CO [mg/km], THC Emissions [mg/km], THC + NOx Emissions [mg/km], RDE NOx Urban, Noise Level dB(A), Date of change.

Els motius d'eliminar aquestes columnes són diversos com:

- Columnes redundants.
- Columnes insignificants, sense informació valuosa.
- Dades amb errors.

I apliquem aquest procés a tots els *datasets* descarregats d'emissions, abans de passar al procés de neteja de dades.

6.1.2 Neteja de dades

Amb aquest primer pas realitzat on eliminem columnes, passem a la neteja d'aquestes columnes que es coneix com a *Data Cleaning*.

En aquest procés de neteja, hem d'assegurar-nos què a les columnes referents a les característiques dels vehicles, no existeixen dades mal introduïdes en la BBDD, què puguin resultar en una desviació dels resultats finals d'emissions. Posem com a exemple:

- A la columna *Fabricant* que estigui escrit "BENTLEY-MOTORS", en comptes de "BENTLEY MOTORS".
- A la columna *Model* que estigui escrit "Alfa 4 C", en comptes de "Alfa 4C".
- A la columna *Descripció* que estigui escrit "1,4", en comptes de "1.4".

En el nostre cas, pel fet que aquesta taula rep la informació introduïda pels humans, hem de realitzar una neteja important en tots els *datasets*.

Després de realitzar la neteja per a totes les dades, eliminem les dades duplicades en totes les descàrregues i aconseguim una informació més compacta i valuosa.

Però abans d'ajuntar tots els *datasets* en un sol, hem de tenir en compte que les dades d'emissions amb les quals treballem són sota el cicle WLTP i la norma RDE, només disponibles per als vehicles que són com a mínim, Euro 6c.

És a dir per a la resta, haurem de realitzar conversions per a veure en quin percentatge canvien les emissions dels vehicles restants sota el cicle WLTP i la norma RDE.

6.1.3 Conversió de dades

En aquest procés realitzarem la conversió de dades d'emissions mesurades amb el cicle NEDC al cicle WLTP, i posteriorment adaptarem les dades a NO_x a la norma RDE.

Per aquesta tasca ens recolzarem tant de diversos estudis que ja han realitzat algunes comparacions entre el cicle antic i el nou cicle, com en càlculs propis.

Per a la norma RDE comprovem en quin percentatge varien les emissions de NO_x del cicle WLTP a la norma RDE, amb l'ajuda de les emissions ja publicades pels vehicles Euro 6c, Euro 6d-TEMP i Euro 6d.

Primerament analitzem un estudi de la Comissió Europea de Ciències i Coneixement, on realitzaven unes sèries d'estudis, i ens aporten una ràtio de canvi de les emissions de CO_2 , del cicle NEDC al nou WLTP. [83]

Però ens trobem amb un problema, i és que en aquest estudi les ràtios de conversió estan establerts segons el tipus de combustible que utilitza el vehicle i la seva cilindrada, mentre que en les nostres fulles, es simplifica molt aquest apartat.

a) Canvis en les etiquetes de Combustible

En aquest primer pas de la conversió de les dades, volem obtenir una distinció de tots els models de vehicles que ens permeti poder utilitzar l'estudi de la Comissió Europea i que a més posteriorment ens faciliti la distinció dels vehicles segons el seu distintiu mediambiental.

Per tant apliquem un canvi per a tots els *datasets* de Combustible, què quedaria de la següent manera: (Taula 20)

Taula 20: Canvis en l'etiquetat de la columna de combustible

Columna original	Columna modificada
Diesel	Benzina
Diesel Electric	Diesel
Electricity	Diesel
Electricity / Petrol	Electric BEV
Petrol	Electric FCEV
Petrol Electric	Electric REEV
Petrol Hybrid	GLP
	GNC
	Híbrid Benzina HEV
	Híbrid Benzina PHEV
	Híbrid Diesel HEV
	Híbrid Diesel PHEV

Font: Elaboració pròpia

b) Dades CO₂

Amb les columnes modificades, ja apliquem els primers canvis relacionats amb les dades de CO₂ per als vehicles que estaven subjectes a l'antic cicle NEDC: (Taula 21)

Taula 21: Ràtios de CO₂ que s'aplicaren als vehicles NEDC

Combustible i cilindrada	Rati WLTP/ NEDC CO ₂
Benzina < 1.4 l	1,24
Benzina 1.4-2.0 l	1,15
Benzina >2.0 l	1,07
Diesel < 1.4 l	1,26
Diesel 1.4-2.0 l	1,21
Diesel >2.0 l	1,14
GLP	1,16
GNC	1,36
Híbrid Benzina HEV < 1.4 l	1,37
Híbrid Benzina HEV 1.4-2.0 l	1,32
Híbrid Benzina HEV >2.0 l	1,23
Híbrid Diesel HEV < 1.4 l	1,38
Híbrid Diesel HEV 1.4-2.0 l	1,34
Híbrid Diesel HEV >2.0 l	1,3
Vehicles PHEV	1

Font: Elaboració pròpia

A més en aquest cas, no hem inclòs les reduccions d'autonomia que sofreixen els vehicles elèctrics i híbrids, ja que ens centrem en les emissions, tot i que més endavant ho comentarem, a causa de la seva influència en l'etiquetatge dels vehicles.

c) Dades NO_x

Ara que ja tenim les dades de CO_2 transformades, procedim a la conversió de dades de NO_x per als vehicles que estaven subjectes a l'antic cicle NEDC: [84] (Taula 22)

Taula 22: Ràtios de NO_x que s'aplicaren als vehicles NEDC

Combustible	Rati WLTP/ NEDC NO_x
Benzina i Hibrid	1,37
Diesel i Hibrid	1,85

Font: Elaboració pròpia

Aquestes ràtios s'apliquen a tots els vehicles que utilitzen benzina o dièsel, ja siguin híbrids o no, ja que els motors de combustió augmenten les seves emissions amb el cicle WLTP.

d) Dades dels vehicles GLP i GNC

En el cas dels vehicles a gas, no existien gran varietat d'aquest tipus de vehicles en les publicacions del VCA i per tant, vam tenir que introduir manualment tots els models a gas que han estat a la venda a Espanya en els últims anys.

Amb l'ajuda de fitxes tècniques publicades a diferents pàgines especialitzades en el món del motor, vam obtenir les dades de CO_2 de tots els vehicles a gas i només havíem d'aplicar la ràtio de conversió que hem anomenat prèviament. [85]

Però per a aplicar una ràtio de conversió per a les emissions de NO_x i partícules, vam tenir que investigar el seu homònim de versió de benzina i conèixer en quin percentatge es redueixen les emissions pels vehicles de Gas Liquefiet de Petroli (GLP) i de Gas Natural Comprimat (GNC). [86] (Taula 23)

Taula 23: Ràtios de NO_x i PM pels vehicles a gas respecte als de benzina

Combustible	Rati NO_x / versió benzina	Rati PM/ versió benzina
GLP	0,32	0,01
GNC	0,15	0,05

Font: Elaboració pròpia

e) Dades NO_x amb la norma RDE

Com a següent pas, també efectuarem una conversió de les dades NO_x cap al cicle WLTP, i les adaptarem a la norma RDE per a posar-les en la columna *Emissions NO_x RDE*.

Per a realitzar-ho comprovarem segons els tipus de combustible, en quina ràtio augmenten les emissions WLTP en diferents condicions de conducció reals. Aquest pas es pot fer gràcies a què els vehicles Euro 6c, Euro 6d-TEMP i Euro 6d, ja compleixen aquest tipus d'avaluacions i per tant, tenim un indicador que ens pot ajudar a estimar en quina ràtio s'augmenten les emissions.

Finalment després de portar a terme l'esmentat, les ràtios de conversió de NO_x a la norma RDE queden de la següent manera: (Taula 24)

Taula 24: Ràtios de NO_x a la norma RDE per tipus de combustible

Combustible	Rati NO _x RDE/ NO _x normal
Benzina	5,34
Diesel	2,97
Electric REEV	6,71
GLP	3,52
GNC	3,07
Híbrid Benzina HEV	7,81
Híbrid Benzina PHEV	6,99
Híbrid Diesel HEV	4,38
Híbrid Diesel PHEV	3,92

Font: Elaboració pròpia

Amb la conversió de dades ja realitzada, procedim ja finalment a ajuntar tots els *datasets*, en una sola BBDD amb la qual podrem treballar i aconseguir el nostre objectiu d'esbrinar la quantitat d'emissions emeses.

Amb aquest últim pas finalitza el procés de conversió de dades per a adaptar-les el màxim possible al cicle WLTP i a la nova norma RDE, per a obtenir una visió més realista de les emissions de cada tipus de vehicle segons la seva etiqueta mediambiental.

6.1.4 Addició de columnes

Amb el procés de readaptació de les dades a una visió més actualitzada, procedim a l'addició de noves columnes, per a poder identificar els vehicles segons el tipus d'etiqueta que rep segons la classificació realitzada per la DGT. [87]

A més també afegirem 2 noves columnes que ens ajudaren a comparar els vehicles amb les dades del parc automobilístic de la DGT, de la qual parlarem més endavant. I afegirem una columna més, on classificarem els vehicles segons l'etiqueta mediambiental que els hi correspon.

Finalment afegim 3 noves columnes al nostre *dataset* i les quals són: (Taula 25)

Taula 25: Columnes afegides al nostre *dataset* d'emissions

CARACTERÍSTIQUES DE COLUMNES AFEGIDES	
Dades atributs	Característica de dada
Etiqueta mediambiental (Etiqueta)	Etiqueta mediambiental assignada al vehicle de la taula d'emissions.
Classificació segons Cilindrada (Cilindrada DGT)	Classificació dels vehicles segons la cilindrada del motor de combustió.
Classificació segons tipus Combustible (Combustible DGT)	Classificació dels vehicles segons la el tipus de combustible utilitzat.

Font: Elaboració pròpia

Amb aquest últim procés, finalment es finalitza el procés de tractament de les dades d'emissions i per tant ja poden ser utilitzades per al nostre treball.

6.2 Dades del parc automobilístic a Catalunya

Finalment l'últim pas, abans de procedir al càlcul d'emissions a les carreteres, consisteix a esbrinar el parc automobilístic existent a Catalunya i per tant d'aquella manera poder estimar quants tipus de vehicles diferents poden circular a les autopistes.

En aquest cas utilitzem les dades proporcionades per la Direcció General de Tràfic (DGT), sobre el parc automobilístic a Catalunya censat durant l'any 2019, i què ens ajudarà a conèixer els diferents tipus de vehicle que es troben a les carreteres. [88]

A continuació mostrarem les dades a utilitzar per al nostre estudi i amb les quals podrem finalment acabar amb el nostre objectiu i obtenir uns resultats.

6.2.1 Nombre de vehicles totals segons tipus de vehicles

Com a primer pas hem de conèixer el nombre de turismes que existeixen a Catalunya, i conèixer el seu percentatge, respecte al total del parc de vehicles. Això serà vital, ja que és una dada que anirà relacionada directament amb les nostres prediccions d'intensitat de vehicles de l'any 2020: (Taula 26)

Taula 26: Parc de vehicles totals per tipus de vehicle 2019

Parc de vehicles totals per tipus de vehicle 2019									
COMUNITATS AUTÒNOMES	CAMIONS	FURGONETES	AUTOBUSOS	TURISMES	MOTOCICLETES	TRACTORS INDUSTRIALS	REMOLCS I SEMI-REMOLCS	ALTRES VEHICLES	TOTAL
Catalunya	366.451	388.474	9.636	3.560.228	860.663	28.496	83.280	75.938	5.373.166
Catalunya (%)	6,8200%	7,2299%	0,1793%	66,2594%	16,0178%	0,5303%	1,5499%	1,4133%	

Font: Elaboració pròpia

Com a punt, també volem explicar que aquest no és el millor mètode per esbrinar la quantitat de vehicles que circulen per les autopistes, ja que els percentatges dels tipus de vehicles que circulen per les vies cada hora, en la realitat pot ser molt diferent. Com a exemple: el percentatge de turismes que circulen a les 13h, no serà el mateix a les 23h.

El motiu d'utilitzar aquestes dades per l'estimació, és que a Espanya no hi ha tecnologia capaç de distingir entre diferents tipus de vehicle. Parlarem aquest fet més endavant.

Amb aquest fet aclarit, continuem amb aquestes dades per a realitzar el nostre estudi.

6.2.2 Nombre de turismes per distintiu ambiental

Hem d'esbrinar el nombre de turismes que tenen un distintiu mediambiental, per a conèixer posteriorment quantes emissions poden generar els vehicles segons el seu distintiu mediambiental. Per tant, procedim a obtenir la taula següent: (Taula 27)

Taula 27: Parc de turismes per distintiu mediambiental 2019

Parc de turismes per distintiu mediambiental 2019						
PROVINCIES	TOTAL	CERO	B	C	ECO	Sense distintiu
Barcelona	2.486.907	6.065	789.160	878.521	57.701	755.460
Girona	420.150	573	132.523	132.606	6.960	147.488
Lleida	233.418	243	79.207	57.874	2.749	93.345
Tarragona	419.753	535	138.522	129.787	6.242	144.667
TOTAL	3.560.228	7.416	1.139.412	1.198.788	73.652	1.140.960
TOTAL %		0,2083%	32,0039%	33,6717%	2,0687%	32,0474%

Font: Elaboració pròpia

6.2.3 Nombre de turismes per combustible

Hem d'esbrinar el nombre de turismes segons el tipus de combustible que utilitzen, per a conèixer posteriorment quantes emissions poden generar els vehicles segons el tipus de combustible. Per tant, procedim a obtenir la taula següent: (Taula 28)

Taula 28: Parc de turismes per combustible 2019

Parc de turismes per combustible 2019				
PROVINCIES	TOTAL	BENZINA	DIESEL	ALTRES
Barcelona	2.486.907	1.328.008	1.143.273	15.626
Girona	420.150	221.560	197.244	1.346
Lleida	233.418	92.323	140.599	496
Tarragona	419.753	201.256	217.297	1.200
TOTAL	3.560.228	1.843.147	1.698.413	18.668
TOTAL %		51,77%	47,71%	0,52%

Font: Elaboració pròpia

6.2.4 Nombre de turismes per cilindrada

Hem d'esbrinar el nombre de turismes segons la cilindrada del seu motor de combustió, per a conèixer posteriorment quantes emissions poden generar els vehicles segons la seva cilindrada. Per tant, procedim a obtenir la taula següent: (Taula 29)

Taula 29: Parc de turismes per cilindrada 2019

Parc de turismes per cilindrada 2019					
PROVINCIES	TOTAL	Fins 1199 cm	1200-1599 cm	1600-1999 cm	Major de 1999 cm
Barcelona	2.486.907	449.110	1.043.853	783.157	210.787
Girona	420.150	75.019	176.446	130.880	37.805
Lleida	233.418	26.637	83.353	94.967	28.461
Tarragona	419.753	67.133	172.304	142.100	38.216
TOTAL	3.560.228	617.899	1.475.956	1.151.104	315.269
TOTAL %		17,36%	41,46%	32,33%	8,86%

Font: Elaboració pròpia

6.2.5 Quadre final de turismes segons distintiu, combustible i cilindrada

Finalment quan ja disposem de totes les dades necessàries, procedim a realitzar un quadre en el qual reflectir el percentatge que ocupen els distints tipus de vehicles segons la seva etiqueta mediambiental, el seu combustible i la seva cilindrada.

Per a realitzar aquesta representació, realitzem uns senzills càlculs que mostrem a continuació:

- **(%) Vehicles per etiqueta * (%) Vehicles per combustible**

Amb aquest primer càlcul obtenim l'etiqueta del vehicle juntament amb el tipus de combustible que utilitza: (Taula 30)

Taula 30: Percentatge de vehicles per etiqueta i combustible

DISTINTIU / COMBUSTIBLE	TOTAL
CERO BENZINA	0,1078%
CERO DIESEL	0,0994%
CERO ALTRES	0,0011%
B BENZINA	16,5686%
B DIESEL	15,2675%
B ALTRES	0,1678%
C BENZINA	17,4320%
C DIESEL	16,0631%
C ALTRES	0,1766%
ECO BENZINA	1,0710%
ECO DIESEL	0,9869%
ECO ALTRES	0,0108%
SENSE BENZINA	16,5911%
SENSE DIESEL	15,2883%
SENSE ALTRES	0,1680%
TOTAL %	100,0000%

Font: Elaboració pròpia

Tot seguit, realitzem l'últim càlcul que seria el següent:

- **(%) Vehicles per etiqueta i combustible * (%) Vehicles per cilindrada**

Amb aquest càlcul final obtenim l'etiqueta del vehicle juntament amb el tipus de combustible que utilitza i segons la cilindrada del seu motor de combustió: (Taula 31)

Taula 31: Percentatge de vehicles per etiqueta, combustible i cilindrada

% turismes per etiqueta, combustible i cilindrada 2019					
DISTINTIU / COMBUSTIBLE	TOTAL	Fins 1199 cm	1200-1599 cm	1600-1999 cm	Major de 1999 cm
CERO BENZINA	0,1078%	0,0187%	0,0447%	0,0349%	0,0095%
CERO DIESEL	0,0994%	0,0172%	0,0412%	0,0321%	0,0088%
CERO ALTRES	0,0011%	N/A	N/A	N/A	N/A
B BENZINA	16,5686%	2,8756%	6,8688%	5,3570%	1,4672%
B DIESEL	15,2675%	2,6498%	6,3294%	4,9363%	1,3520%
B ALTRES	0,1678%	0,0291%	0,0696%	0,0543%	0,0149%
C BENZINA	17,4320%	3,0254%	7,2267%	5,6362%	1,5437%
C DIESEL	16,0631%	2,7879%	6,6593%	5,1936%	1,4224%
C ALTRES	0,1766%	0,0306%	0,0732%	0,0571%	0,0156%
ECO BENZINA	1,0710%	0,1859%	0,4440%	0,3463%	0,0948%
ECO DIESEL	0,9869%	0,1713%	0,4091%	0,3191%	0,0874%
ECO ALTRES	0,0108%	0,0019%	0,0045%	0,0035%	0,0010%
SENSE BENZINA	16,5911%	2,8795%	6,8781%	5,3643%	1,4692%
SENSE DIESEL	15,2883%	2,6534%	6,3380%	4,9430%	1,3538%
SENSE ALTRES	0,1680%	0,0292%	0,0697%	0,0543%	0,0149%
TOTAL %	100,0000%				

Font: Elaboració pròpia

Per a una millor interpretació de la taula, posem un exemple: els vehicles amb etiqueta B de benzina, conformen el 16,5686 % del parc automobilístic a Catalunya. Aquest percentatge, a més el detallem segons la cilindrada del motor, on els vehicles amb una cilindrada major de 1999 cm³, formen un 1,4672 % del parc automobilístic.

Ja disposem de les dades del parc automobilístic tractades, i per tant ja podem procedir a obtenir les dades d'emissions.

6.3 Càlcul de les emissions

Finalment procedim amb el càlcul de les emissions mitjanes de CO₂, NO_x, NO_x RDE i de PM per a cada tipus d'etiqueta, combustible utilitzat i la seva cilindrada.

Realitzem els càlculs amb el mateix llenguatge Python, què hem utilitzat per al nostre model de ML, ja que és un llenguatge que ens permet realitzar els càlculs de manera senzilla i ràpida.

6.3.1 Emissions mitjanes segons diverses variables

Primer calculem les emissions mitjanes només tenint en compte les etiquetes, i obtenim els resultats següents: (Taula 32)

Taula 32: Emissions mitjanes segons etiqueta

Etiqueta	CO2 [g/km]	NOx [mg/km]	RDE NOx [mg/km]	Part [mg/km]
0	27,6265	6,0241	36,2008	0,1204
B	199,1885	265,1547	830,7294	5,7087
C	181,0877	35,4130	154,8756	0,3864
ECO	137,3503	17,9333	92,7224	0,2519
SENSE	227,1576	594,2085	1858,3777	26,8159

Font: Elaboració pròpia

Com hi podem veure amb les dades d'emissions per etiquetes, sembla que el pla ZBE ha realitzat l'etiquetatge dels vehicles de manera correcta, posant restriccions primerament als vehicles sense distintius, ja que són vehicles molt més contaminants.

I després amb un pla de restriccions escalonat, on els següents que patiren restriccions seran els vehicles amb etiqueta B, després els vehicles C i finalment després els vehicles ECO i 0.

Però si realitzem els càlculs de les emissions mitjanes de manera més detallada, incloent-hi el tipus de combustible utilitzat i la cilindrada del seu motor de combustió, els resultats varien de manera important.

Obtenim els resultats següents incloent el combustible i la cilindrada: (Taula 33)

Taula 33: Emissions mitjanes segons etiqueta, combustible i la seva cilindrada

Etiqueta	Combustible DGT	Cilindrada DGT	CO ₂ [g/km]	NO _x [mg/km]	RDE NO _x [mg/km]	Part [mg/km]
0	BENZINA	1200-1599 cm	42,9024	6,7073	48,5122	1,3000
		1600-1999 cm	50,9059	9,1529	60,7059	1,9300
		Fins 1199 cm	12,6667	1,3333	9,0000	N/A
		Major de 1999 cm	59,0000	10,3333	72,3333	N/A
	CERO	0	0	0	0	0
B	ALTRES	1200-1599 cm	185,3750	28,5000	152,0000	N/A
		1600-1999 cm	230,6667	19,0000	100,0000	N/A
	BENZINA	1200-1599 cm	205,4121	68,3214	364,3448	N/A
		1600-1999 cm	239,2428	79,9476	426,4636	N/A
		Fins 1199 cm	182,9615	67,3269	359,0865	N/A
		Major de 1999 cm	300,7041	75,1720	401,1429	N/A
	DIESEL	1200-1599 cm	143,6802	297,8812	885,6080	5,0658
		1600-1999 cm	181,8719	321,9795	957,1439	5,5655
		Fins 1199 cm	117,7164	289,6866	861,2388	2,1790
		Major de 1999 cm	208,2731	349,8313	1039,9636	6,4953
C	ALTRES	1600-1999 cm	193,5000	12,4500	43,7000	N/A
		Major de 1999 cm	316,0000	52,0000	183,0000	N/A
	BENZINA	1200-1599 cm	167,1391	29,1128	156,5406	0,4016
		1600-1999 cm	197,0414	30,0007	160,2357	0,4334
		Fins 1199 cm	136,8261	27,2867	142,6167	0,8725
		Major de 1999 cm	262,2372	32,2962	172,5234	1,1997
	DIESEL	1200-1599 cm	124,0720	44,8693	135,0203	0,2936
		1600-1999 cm	148,9702	46,9759	140,1614	0,3413
		Fins 1199 cm	106,6667	54,9333	162,8667	0,1693
		Major de 1999 cm	165,8830	55,8368	162,4618	0,5584
ECO	ALTRES	1200-1599 cm	144,3037	11,2827	38,4159	0,0056
		1600-1999 cm	167,2308	21,7115	75,1538	0,0081
		Fins 1199 cm	117,4552	5,2015	18,1045	0,0175
		Major de 1999 cm	230,5758	26,0303	86,8182	N/A
	BENZINA	1200-1599 cm	111,7692	9,3419	79,8889	N/A
		1600-1999 cm	108,2301	8,2688	64,7591	0,7236
		Fins 1199 cm	145,0000	30,0000	169,0000	N/A
		Major de 1999 cm	160,2137	11,0551	81,8458	1,6303
	DIESEL	1200-1599 cm	149,8431	38,9216	155,6078	0,1906
		1600-1999 cm	146,8065	155,7097	707,0323	1,0119
		Major de 1999 cm	141,4333	139,7500	612,0667	0,6325
SENSE	BENZINA	1200-1599 cm	212,9199	97,0709	517,0297	N/A
		1600-1999 cm	246,5336	155,9382	831,8180	N/A
		Fins 1199 cm	187,2540	66,4286	354,8095	N/A
		Major de 1999 cm	319,8894	110,2009	587,1069	N/A
	DIESEL	1200-1599 cm	155,3598	718,6644	2136,3808	19,9874
		1600-1999 cm	196,8855	780,5024	2321,0918	28,7792
		Major de 1999 cm	244,5859	872,9935	2595,3405	47,5542

Font: Elaboració pròpia

En aquesta taula hem marcat els valors més alts d'emissions per a cada etiqueta, en color groc i els resultats més baixos, en color verd. S'observa, que per exemple: els vehicles de benzina majoritàriament, produeixen més emissions de CO₂, i en canvi els vehicles dièsel, en especial els sense etiqueta, produeixen més NO_x.

La quantitat d'emissions varia molt depenent del tipus de combustible i la seva cilindrada. Per exemple: vehicles amb etiqueta ECO que contaminem més que vehicles amb un etiquetat inferior o sense etiqueta.

Observem amb aquests resultats, que l'etiquetatge dels vehicles no arriba a classificar els vehicles de la manera més justa i correcta, ja que depèn de diversos factors.

Finalment, ja tenim les emissions mitjanes segons diverses variables, i ara les unificarem en una sola mesura mitjana unificada.

6.3.2 Emissions mitjanes unificades

Per unificar les emissions mitjanes en una sola emissió mitjana, utilitzarem les dades del parc automobilístic que ja vam calcular prèviament i les multiplicarem per les emissions mitjanes que hem obtingut ara.

- Emissió mitjana unificada de CO₂: La fórmula del càlcul d'emissions de CO₂ quedaria de la següent manera →

$$\% \text{ tur. etiq. comb. cil.} * \text{emissió CO}_2 \text{ etiq. comb. cil.}$$

On després finalment sumarien totes les emissions i obtindrien l'emissió mitjana unificada de CO₂, de tot el parc automobilístic. (Taula 34)

Taula 34: Emissió mitjana unificada de CO₂

Emissió mitjana de CO ₂ g/km					
DISTINTIU / COMBUSTIBLE	TOTAL	Fins 1199 cm	1200-1599 cm	1600-1999 cm	Major de 1999 cm
CERO BENZINA	0,0449	0,0024	0,0192	0,0177	0,0056
CERO DIESEL	0,0042	0,0000	0,0000	0,0000	0,0042
CERO ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B BENZINA	36,5987	5,2612	14,1093	12,8162	4,4119
B DIESEL	24,0070	3,1192	9,0941	8,9778	2,8158
B ALTRES	0,2541	0,0000	0,1290	0,1252	0,0000
C BENZINA	31,3719	4,1396	12,0787	11,1056	4,0480
C DIESEL	21,3324	2,9737	8,2623	7,7369	2,3596
C ALTRES	0,1599	0,0000	0,0000	0,1105	0,0494
ECO BENZINA	1,2925	0,2695	0,4963	0,3748	0,1519
ECO DIESEL	1,2051	0,0000	0,6131	0,4684	0,1236
ECO ALTRES	0,0168	0,0022	0,0065	0,0059	0,0022
SENSE BENZINA	37,9614	5,3919	14,6449	13,2248	4,6998
SENSE DIESEL	22,8901	0,0000	9,8467	9,7321	3,3113
SENSE ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
TOTAL %	177,14				

Font: Elaboració pròpia

- Emissió mitjana unificada de NO_x: La fórmula del càlcul d'emissions de NO_x quedaria de la següent manera →

$$\% \text{ tur. etiq. comb. cil.} * \text{emissió NO}_x \text{ etiq. comb. cil.}$$

On després finalment sumarien totes les emissions i obtindrien l'emissió mitjana unificada de NO_x, de tot el parc automobilístic. (Taula 35)

Taula 35: Emissió mitjana unificada de NO_x

Emissió mitjana de NO_x mg/km					
DISTINTIU / COMBUSTIBLE	TOTAL	Fins 1199 cm	1200-1599 cm	1600-1999 cm	Major de 1999 cm
CERO BENZINA	0,0074	0,0002	0,0030	0,0032	0,0010
CERO DIESEL	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000	0,0030
CERO ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B BENZINA	12,0146	1,9360	4,6929	4,2828	1,1029
B DIESEL	47,1539	7,6760	18,8542	15,8940	4,7297
B ALTRES	0,0301	0,0000	0,0198	0,0103	0,0000
C BENZINA	5,1189	0,8255	2,1039	1,6909	0,4985
C DIESEL	7,7534	1,5315	2,9880	2,4397	0,7942
C ALTRES	0,0152	0,0000	0,0000	0,0071	0,0081
ECO BENZINA	0,1364	0,0558	0,0415	0,0286	0,0105
ECO DIESEL	0,7782	0,0000	0,1592	0,4968	0,1221
ECO ALTRES	0,0016	0,0001	0,0005	0,0008	0,0003
SENSE BENZINA	18,5735	1,9128	6,6767	8,3650	1,6191
SENSE DIESEL	95,9485	0,0000	45,5491	38,5806	11,8188
SENSE ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
TOTAL %	187,53				

Font: Elaboració pròpia

- Emissió mitjana unificada de NO_x RDE: La fórmula del càlcul d'emissions de NO_x RDE quedaria de la següent manera →

$$\% \text{ tur. etiq. comb. cil.} * \text{emissió NO}_x \text{ RDE etiq. comb. cil.}$$

On després finalment sumarien totes les emissions i obtindrien l'emissió mitjana unificada de NO_x RDE, de tot el parc automobilístic. (Taula 36)

Taula 36: Emissió mitjana unificada de NO_x RDE

Emissió mitjana de NO_x RDE mg/km					
DISTINTIU / COMBUSTIBLE	TOTAL	Fins 1199 cm	1200-1599 cm	1600-1999 cm	Major de 1999 cm
CERO BENZINA	0,0514	0,0017	0,0217	0,0212	0,0069
CERO DIESEL	0,0119	0,0000	0,0000	0,0000	0,0119
CERO ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B BENZINA	64,0831	10,3258	25,0261	22,8457	5,8856
B DIESEL	140,1828	22,8208	56,0539	47,2479	14,0602
B ALTRES	0,1600	0,0000	0,1057	0,0543	0,0000
C BENZINA	27,3218	4,3148	11,3128	9,0311	2,6632
C DIESEL	23,1221	4,5405	8,9913	7,2794	2,3109
C ALTRES	0,0536	0,0000	0,0000	0,0249	0,0286
ECO BENZINA	0,9707	0,3141	0,3547	0,2242	0,0776
ECO DIESEL	3,4276	0,0000	0,6366	2,2560	0,5349
ECO ALTRES	0,0055	0,0003	0,0017	0,0026	0,0008
SENSE BENZINA	99,0254	10,2167	35,5620	44,6211	8,6257
SENSE DIESEL	285,2732	0,0000	135,4043	114,7327	35,1363
SENSE ALTRES	3,1356	0,0000	1,4883	1,2611	0,3862
TOTAL %	646,82				

Font: Elaboració pròpia

- Emissió mitjana unificada de PM: La fórmula del càlcul d'emissions de PM quedaria de la següent manera →

$$\% \text{ tur. etiq. comb. cil.} * \text{emissió PM etiq. comb. cil.}$$

On després finalment sumarien totes les emissions i obtindrien l'emissió mitjana unificada de PM, de tot el parc automobilístic. (Taula 37)

Taula 37: Emissió mitjana unificada de PM

Emissió mitjana de PM mg/km					
DISTINTIU / COMBUSTIBLE	TOTAL	Fins 1199 cm	1200-1599 cm	1600-1999 cm	Major de 1999 cm
CERO BENZINA	0,0013	0,0000	0,0006	0,0007	0,0000
CERO DIESEL	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CERO ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B BENZINA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B DIESEL	0,7409	0,0577	0,3206	0,2747	0,0878
B ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C BENZINA	0,0984	0,0264	0,0290	0,0244	0,0185
C DIESEL	0,0499	0,0047	0,0195	0,0177	0,0079
C ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ECO BENZINA	0,0041	0,0000	0,0000	0,0025	0,0015
ECO DIESEL	0,0046	0,0000	0,0008	0,0032	0,0006
ECO ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SENSE BENZINA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SENSE DIESEL	3,3332	0,0000	1,2668	1,4226	0,6438
SENSE ALTRES	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
TOTAL %	4,23				

Font: Elaboració pròpia

Aquests càlculs són molt valuosos, perquè ens ajuden a investigar l'emissió mitjana del parc automobilístic i per tant donar un indicador, de quant de contaminants són els vehicles que circulen a Catalunya.

De fet, podem separar aquestes emissions unificades segons els tipus de turismes permesos en horari ZBE i en horari normal, veient de manera evident la reducció d'emissions que suposa el pla ZBE: (Taula 38)

Taula 38: Emissions unificades condicionada al pla ZBE

Emissions unificades segons franja horària				
FRANJA HORÀRIA	CO2 [g/km]	NOx [mg/km]	NOx RDE [mg/km]	PM [mg/km]
FRANJA NORMAL	177,14	187,53	646,82	4,23
FRANJA ZBE	116,29	73,01	259,39	0,90
VARIACIÓ	-34,35%	-61,07%	-59,90%	-78,72%

Font: Elaboració pròpia

La reducció d'emissions és molt evident quan es restringeixen els vehicles sense etiqueta, disminuint les emissions en percentatges molt elevats. A més tenint en compte que també es produeix una disminució de circulació de vehicles, es pot dir que la reducció d'emissions s'intensifica.

Ara ja disposem d'emissions unificades que utilitzarem després per a les nostres estimacions d'emissions horàries amb les intensitats de vehicles.

7 OBJECTE D'ESTUDI

Entrem en la fase final de l'estudi, en la qual calcularem la quantitat d'emissions generades durant l'any 2020.

Però primerament per a poder calcular aquestes emissions totals generades, haurem d'esbrinar la quantitat de quilòmetres que recorren de mitjana els turismes a l'any i esbrinar d'aquesta manera els quilòmetres per hora que recorren.

Per a esbrinar-ho, utilitzem una anàlisi realitzada per la DGT sobre els quilòmetres que s'anoten en les Inspeccions Tècniques dels Vehicles (ITV) de l'any 2017. [89]

I gràcies a aquest estudi, ja disposem dels quilòmetres de mitjana recorreguts pels turismes, els quals passem a mitjana mensual, diària i horària. (Taula 39)

Taula 39: Quilòmetres recorreguts pels turismes

Kms de mitjana recorreguts pels turismes				
	Anual	Mensual	Dia	Horari
Turismes	12.266	1.022,1667	34,0722	1,4197

Font: Elaboració pròpia

Ara ja ens disposem a realitzar els càlculs d'emissions de CO₂, NO_x, NO_x RDE i PM, per a les intensitats de vehicles reals i estimades de l'any 2020.

Per a poder realitzar-ho hem d'aplicar els següents càlculs per a totes les intensitats horàries reals i estimades que tenim de l'any 2020.

- Quantitat d'emissions de CO₂:

$$\text{Int veh} * \% \text{ turismes parc} * \text{km mitjans} * \text{emissió unificada CO}_2$$

$$\text{Int veh} * 0,6624 * 1,4197 * 177,14$$

- Quantitat d'emissions de NO_x:

$$\text{Int veh} * \% \text{ turismes parc} * \text{km mitjans} * \text{emissió unificada NO}_x$$

$$\text{Int veh} * 0,6624 * 1,4197 * 187,53$$

- Quantitat d'emissions de NO_x RDE:

$$\text{Int veh} * \% \text{ turismes parc} * \text{km mitjans} * \text{emissió unificada NO}_x \text{ RDE}$$

$$\text{Int veh} * 0,6624 * 1,4197 * 646,82$$

- Quantitat d'emissions de PM:

$$\text{Int veh} * \% \text{ turismes parc} * \text{km mitjans} * \text{emissió unificada PM}$$

$$\text{Int veh} * 0,6624 * 1,4197 * 4,25$$

Per a poder entrar en context, primer mostrem els resultats de la variació de les intensitats de turismes reals contra les nostres estimades: (Taula 40)

Taula 40: Variació de turismes reals vs estimades

Semana..	Prom. Turismes	Prom. Turismes Pred	Variació Pred/Real
W01	1.050	1.087	-3,41%
W02	1.212	1.194	1,47%
W03	1.303	1.277	2,00%
W04	1.280	1.254	2,06%
W05	1.362	1.295	5,15%
W06	1.357	1.336	1,58%
W07	1.362	1.370	-0,57%
W08	1.349	1.369	-1,40%
W09	1.360	1.304	4,30%
W10	1.390	816	70,37%
W11	1.112	836	33,06%
W12	503	818	-38,48%
W13	356	796	-55,28%
W14	272	437	-37,81%
W15	223	283	-21,09%
W16	316	326	-3,34%
W17	367	347	5,90%
W18	531	485	9,43%
2020	936,0	932,0	0,43%

Font: Elaboració pròpia

Veiem que la mitjana de turismes no desvia molt durant les primeres 9 setmanes de l'any, però definitivament varia amb l'arribada dels primers casos de COVID-19, de l'estat d'alarma i la restricció a realitzar només activitats essencials per la pandèmia.

Per tant hi haurà una gran variació d'emissions a partir de la setmana 10 de l'any 2020, fins que s'estabilitza després de la setmana 15, quan es relaxen les restriccions i el model de predicció comença a ajustar-se millor a la situació.

7.1 Emissions CO₂ i les seves variacions

Ara mostrarem les quantitats d'emissions CO₂ generades per setmanes, juntament amb els seus percentatges de variacions positives i negatives: (Taula 41)

Taula 41: Emissions de CO₂ i les seves variacions

Semana..	Quantitat CO2	Quantitat CO2 pred	Variació Pred/Real
W01	633.620	655.975	-3,41%
W02	1.023.838	1.008.982	1,47%
W03	1.100.661	1.079.119	2,00%
W04	1.081.590	1.059.737	2,06%
W05	1.150.469	1.094.084	5,15%
W06	1.146.523	1.128.691	1,58%
W07	1.150.877	1.157.472	-0,57%
W08	1.140.262	1.156.457	-1,40%
W09	1.149.205	1.101.874	4,30%
W10	1.174.608	689.452	70,37%
W11	939.422	705.994	33,06%
W12	425.022	690.839	-38,48%
W13	298.932	668.464	-55,28%
W14	229.606	369.192	-37,81%
W15	188.784	239.228	-21,09%
W16	266.661	275.864	-3,34%
W17	310.088	292.807	5,90%
W18	256.393	234.309	9,43%
2020	13.666.563	13.608.539	0,43%

Font: Elaboració pròpia

7.2 Emissions NO_x i les seves variacions

Ara mostrarem les quantitats d'emissions NO_x generades per setmanes, juntament amb els seus percentatges de variacions positives i negatives: (Taula 42)

Taula 42: Emissions de NO_x i les seves variacions

Semana..	Quantitat Nox	Quantitat Nox pred	Variació Pred/Real
W01	671	694	-3,41%
W02	1.084	1.068	1,47%
W03	1.165	1.142	2,00%
W04	1.145	1.122	2,06%
W05	1.218	1.158	5,15%
W06	1.214	1.195	1,58%
W07	1.218	1.225	-0,57%
W08	1.207	1.224	-1,40%
W09	1.217	1.167	4,30%
W10	1.244	730	70,37%
W11	995	747	33,06%
W12	450	731	-38,48%
W13	316	708	-55,28%
W14	243	391	-37,81%
W15	200	253	-21,09%
W16	282	292	-3,34%
W17	328	310	5,90%
W18	271	248	9,43%
2020	14.469	14.407	0,43%

Font: Elaboració pròpia

7.3 Emissions NO_x RDE i les seves variacions

Ara mostrarem les quantitats d'emissions NO_x RDE generades per setmanes, juntament amb els seus percentatges de variacions positives i negatives: (Taula 43)

Taula 43: Emissions de NO_x RDE i les seves variacions

Semana..	Quantitat Nox RDE	Quantitat Nox RDE ..	Variació Pred/Real
W01	2.314	2.395	-3,41%
W02	3.739	3.684	1,47%
W03	4.019	3.940	2,00%
W04	3.949	3.870	2,06%
W05	4.201	3.995	5,15%
W06	4.187	4.121	1,58%
W07	4.202	4.227	-0,57%
W08	4.164	4.223	-1,40%
W09	4.196	4.023	4,30%
W10	4.289	2.518	70,37%
W11	3.430	2.578	33,06%
W12	1.552	2.523	-38,48%
W13	1.092	2.441	-55,28%
W14	838	1.348	-37,81%
W15	689	874	-21,09%
W16	974	1.007	-3,34%
W17	1.132	1.069	5,90%
W18	936	856	9,43%
2020	49.904	49.692	0,43%

Font: Elaboració pròpia

7.4 Emissions PM i les seves variacions

Ara mostrarem les quantitats d'emissions PM generades per setmanes, juntament amb els seus percentatges de variacions positives i negatives: (Taula 44)

Taula 44: Emissions de PM i les seves variacions

Semana..	Quantitat PM	Quantitat PM pred	Variació Pred/Real
W01	15,14	15,67	-3,41%
W02	24,46	24,11	1,47%
W03	26,30	25,78	2,00%
W04	25,84	25,32	2,06%
W05	27,49	26,14	5,15%
W06	27,39	26,97	1,58%
W07	27,50	27,65	-0,57%
W08	27,24	27,63	-1,40%
W09	27,46	26,33	4,30%
W10	28,06	16,47	70,37%
W11	22,45	16,87	33,06%
W12	10,15	16,51	-38,48%
W13	7,14	15,97	-55,28%
W14	5,49	8,82	-37,81%
W15	4,51	5,72	-21,09%
W16	6,37	6,59	-3,34%
W17	7,41	7,00	5,90%
W18	6,13	5,60	9,43%
2020	326,5	325,1	0,43%

Font: Elaboració pròpia

8 CONCLUSIONS

Amb els resultats que s'han obtingut del nostre prototip i del càlcul d'emissions, assolim una sèrie de conclusions, què donarem a conèixer en aquest apartat. Dividirem les conclusions del treball entre: conclusions del nostre prototip d'IA, dels resultats de les emissions i de l'objecte d'estudi de la problemàtica que volem atendre.

8.1 Conclusions sobre el Prototip d'IA

En el referent al nostre Prototip d'IA, hem obtingut un gran aprenentatge sobre diferents algorismes que ens donen solucions a problemes de regressió.

Descobrim gràcies als diversos conceptes que hem assimilat, les diverses formes d'optimitzar els nostres models, partint des de la mateixa font de dades així com adaptant les dades, de manera què puguin ser òptimes per a realitzar els entrenaments d'IA.

De fet, veiem en el cas del model de xarxes neuronals una gran millora, passant de ser el pitjor al millor model durant l'entrenament dels models.

Però finalment, quan es tracta de predir dades futures de l'any 2020, l'algorisme que menys ha variat respecte al procés d'entrenament, és l'algorisme de potenciació de gradient. Aquest és el model més robust i estable d'entre tots els que hem entrenat, i finalment el model que hem seleccionat per a la predicció de la intensitat de vehicles.

Però tot i que el nostre model ens dona grans resultats de predicció fins al mes de febrer de 2020, els resultats finals es veuen completament desvirtuats per l'aparició de la pandèmia de la COVID-19. Aquesta pandèmia canvia per complet totes les tendències passades dels darrers anys respecte a la circulació de vehicles.

De fet, per a la realització d'aquest estudi es volia tenir en compte la introducció del pla ZBE, que estava prevista per a l'1 d'abril del 2020, per a poder realitzar un model que fos versàtil i es pogués adaptar a canvis.

No obstant això, la realització d'aquest prototip ens ha ajudat a esbrinar com de gran, ha estat l'impacte en el tràfic amb l'aparició de la COVID-19.

Un dels temes més polèmics durant l'inici de l'esclat de la pandèmia, va ser la possible fuga de persones que vivien a les ciutats cap a segones residències fora de les ciutats.

A partir del nostre estudi i a les dades tant estimades com reals d'aquest 2020, hem conclòs que aquest esdeveniment si què va succeir a la ciutat de Barcelona.

En concret a la carretera de la C-32 en direcció sortida de Barcelona cap a Tarragona, Vilanova i la Geltrú, Sitges, Gavà, Castelldefels i més municipis. Mostrem aquest esdeveniment amb unes gràfiques clares: (Figura 50) (Figura 51)



Figura 50: Comparació entre C-58 i C-32 en direcció entrada a Barcelona

Font: Elaboració pròpia

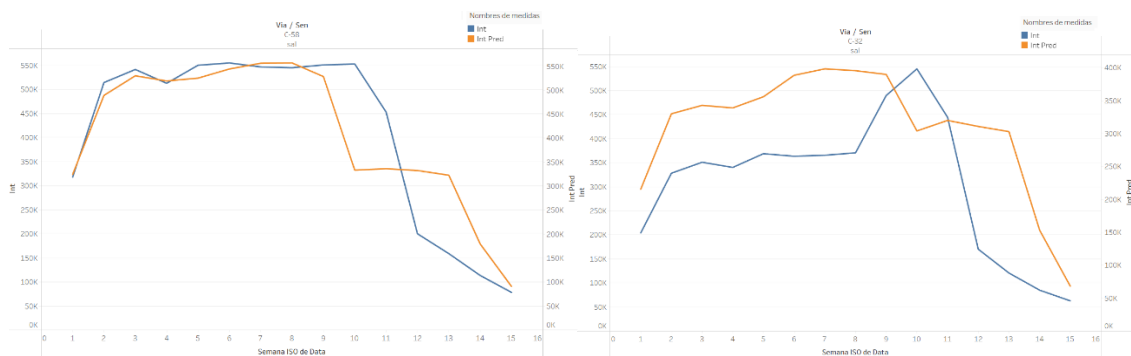


Figura 51: Comparació entre C-58 i C-32 en direcció sortida de Barcelona

Font: Elaboració pròpia

Les nostres estimacions (color taronja) ens indiquen que la C-32 tenia una circulació real (color blau) menys intensa del previst. 2 setmanes abans de la Setmana 11, què és la data d'inici de les mesures per la pandèmia, comença una forta pujada de vehicles en direcció sortida de Barcelona a la setmana 9 i 10. En canvi a la C-58, i altres vies. fins a la setmana 11 tenen una circulació més lineal tant d'entrada i sortida.

8.2 Conclusions sobre els resultats d'emissions

Pels resultats d'emissions, tractar les dades va ser una tasca molt complicada. Tot i que finalment vam obtenir dades d'emissions, moltes d'aquestes dades es trobaven sota l'antic cicle NEDC i a més no existia la norma RDE per a les emissions NO_x i PM.

La conversió de dades al nou cicle WLTP i a la norma RDE va ser un procés molt manual, analitzant estudis de diversos organismes i també realitzant de manera personal, ràtios estimades de conversió, basant-nos en dades actuals i la seva variació percentual.

El procés d'analitzar quina etiqueta li corresponia a cada vehicle, es va basar en la normativa Euro que compleix cada vehicle, tal com es basa l'etiquetat real de la DGT. Després l'addició de columnes pel tipus de combustible i la cilindrada del motor, va ser un gran encert en obtenir uns resultats que ens han ajudat a definir les nostres conclusions.

Les conclusions són que el sistema de restriccions del ZBE és un gran encert per part de l'Ajuntament de Barcelona, ja que els vehicles sense etiquetatge, en especial els dièlsels, són molt més contaminants que la resta del parc d'automòbils. Les emissions mitjanes de la franja ZBE són molt menors gràcies a les restriccions dels vehicles sense etiqueta.

Però si detallem més les emissions, segons cilindrada i tipus de combustible utilitzat i etiqueta, hem vist que els resultats són molt diferents, incloent-hi vehicles ECO que acaben sent més contaminants que vehicles amb un etiquetat inferior.

Aquest fet significa que el sistema de distinció mediambiental pot millorar, incloent-hi el pla ZBE. Això pot produir certa indignació entre els ciutadans que tenen vehicles poc contaminants però amb més anys, ja que es veuen discriminats més per l'edat del vehicle, que per la contaminació. A més aquells ciutadans amb vehicles més recents, però contaminants, tenen uns privilegis que no haurien de tenir, segons els criteris de la DGT.

Una conclusió fora d'aquest estudi, és el fet que amb el cicle WLTP, l'autonomia dels vehicles elèctrics i híbrids es redueix. Per tant, els vehicles híbrids amb etiqueta 0, haurien de ser analitzats amb més consciència, perquè és molt possible que no compleixin amb els criteris per a obtenir una etiqueta 0.

8.3 Conclusions sobre l'objecte d'estudi

Finalment per als resultats de l'objecte d'estudi, el procés d'obtenció del percentatge de turismes que han circulat durant els trams horaris, va ser completament manual. El motiu és el fet que la tecnologia que utilitza la DGT es troba bastant antiquada i les espires no permeten la distinció entre diferents tipus de vehicles.

Amb això no podem conèixer quin percentatge de turismes i diferents tipus de vehicles circulen. Per a poder esbrinar aquest percentatge vam haver de realitzar una estimació percentual gràcies a les dades del parc automobilístic a Catalunya l'any 2019.

A la realitat és molt poc probable que el percentatge de turismes que circulen cada hora sigui igual al percentatge de turismes del parc automobilístic. Amb aquestes explicacions, diem que la part menys realista del nostre treball, és la part en la qual volem obtenir el percentatge de turismes per hora que circulen a les vies.

Respecte als resultats de les emissions reals i estimades de l'any 2020, hi ha una variació de 0,43% en la intensitat de vehicles i les emissions. Aquesta poca variació es troba relacionada per complet amb la pandèmia, ja que durant els 2 primers mesos de l'any, el model té una gran precisió respecte a la realitat, però després la gran reducció de circulació produïda des del 14 de Març, iguala la intensitat real i la intensitat predita.

I finalment amb les dades reals d'emissions de les 18 primeres setmanes de l'any 2020, podem realitzar una comparació amb l'any 2019. I els resultats són bastant contundents, ja que la disminució de circulació de turismes produïda per l'efecte de la COVID-19, ha comportat una reducció de més d'un 31 % d'emissions contaminants.

Mostrem amb la taula següent, els resultats comparatius entre el 2019 i 2020: (Taula 45)

Taula 45: Variació de l'any 2019 i 2020 a les 18 primeres setmanes

VARIACIONS 19-20 EN LES 18 PRIMERES SETMANES					
Any	Promig Turismes	Quantitat CO2	Quantitat Nox	Quantitat Nox RDE	Quantitat PM
2019	1.341	20.224.854,15	21.411,78	73.851,22	483,22
2020	939,44	13.943.497,71	14.761,79	50.914,79	333,14
Variació	-29,94%	-31,06%	-31,06%	-31,06%	-31,06%

Font: Elaboració pròpia

9 MILLORES FUTURES

Finalment després d'obtenir les conclusions del nostre estudi, proposarem un conjunt de millores per a millorar la nostra solució. Distingirem les nostres millores del treball entre: millores del nostre prototip d'IA, dels resultats de les emissions i de l'objecte d'estudi.

9.1 Millores sobre el Prototip d'IA

Per a millorar la precisió del nostre model de predicció, proposem una sèrie de millores i addicions que podrien millorar els resultats predictius. Aquestes millores són:

- Analitzar esdeveniments, congressos, vagues que augmenten de manera puntual la intensitat de vehicles. Durant l'anàlisi de resultats, vam observar que el model no arribava a predir aquells pics puntuals d'intensitat, per tant es podria millorar aquest problema, afegint una columna on classifiquem aquests esdeveniments.
- Analitzar el preu dels combustibles, com un factor que pugui alterar la demanda de vehicles. Analitzar si aquesta variable pot aportar informació significant per al nostre model, i per tant introduir aquesta columna al *dataset*.
- Analitzar si els accidents viaris poden arribar a influir en la intensitat de vehicles a determinades vies i hores, i en la predicció futura. Probablement en cas d'accidents constants a una zona, això pot provocar que es redueixi la circulació de vehicles. Estudiar aquest efecte i introduir aquesta columna en el *dataset*.
- Aplicar els llindars de la normativa de trànsit, per assegurar que les dades estimades del nostre model són de qualitat i per tant poder ser aprofitades pels serveis públics.
- Sol·licitar al SCT totes les dades històriques possibles d'intensitat de vehicles, per a alimentar de dades el nostre prototip de l'Anell 0.
- Aprofundir en més algorismes de regressió i en l'optimització d'aquests per a trobar millors algorismes o formes d'optimitzar el model de predicció.

- Estudiar la possibilitat d'escalar tota la solució a solucions de plataforma amb software en el *cloud*, per a comprovar fins a quin punt pot millorar la velocitat d'execució del nostre prototip, per tant podent escalar el nostre prototip.

9.2 Milliores sobre els resultats d'emissions

Per a millorar la precisió dels resultats d'emissions, proposem una sèrie de millores i addicions que podrien ajudar a millorar la precisió de les emissions. Aquestes són:

- Proposar la publicació de les dades d'emissions dels vehicles que surten al mercat en el nou cicle WLTP i amb la norma RDE, per a la recopilació dels vehicles que formen part del parc automobilístic i de les seves emissions,
- Proposar l'estudi d'emissions en temps reals amb PEMS, dels vehicles que pertanyen a l'antic cicle NEDC, per a passar tota la BBDD del parc automobilístic històric i les seves dades, al nou cicle WLTP i a la norma RDE.

Totes aquestes millores suposarien l'eliminació del procés de conversió de dades, obtenint dades molt més realistes d'emissions. Per tant tot aquest procés suposaria en si una millora molt important.

- Incloure el canvi d'autonomia dels vehicles elèctrics i híbrids del cicle NEDC, al cicle WLTP, per a realitzar un etiquetat més just i realista dels diferents vehicles que conformen el parc automobilístic.
- Proposar una millor classificació de vehicles del parc automobilístic per a conèixer els percentatges de vehicles, segons la seva etiqueta, tipus de combustible i la seva cilindrada i per tant, eliminar el tractament de les dades.

Totes aquestes millores són necessàries per a l'estat espanyol, ja que desgraciadament no vam obtenir dades públiques valuoses d'Espanya i vam haver d'utilitzar les dades que publica el VCA britànic [53], que tot i tenir un parc automobilístic semblant a l'espanyol, ens podrien trobar amb algunes diferències, respecte als models comercialitzats.

9.3 Milllores sobre l'objecte d'estudi

Finalment proposarem una sèrie de millores de l'objecte d'estudi, què podrien ajudar a afrontar millor la problemàtica que hem estudiat. Aquestes podrien ser:

- Utilització de sistemes intel·ligents per a la classificació dels diferents tipus de vehicles que circulen per les vies. A l'Anell 0, existeixen diverses càmeres de seguretat que vigilen el tràfic, i es podria utilitzar un sistema IA de reconeixement d'imatges. Aquest podria classificar els vehicles en temps reals i resoldre el problema de conèixer els tipus de vehicles que circulen.
- Per a poder estimar en quina quantitat hem de reduir el tràfic per a complir amb el Pla Clima 2018-2030, es podria afegir una nova columna al *dataset* de predicció, on indicariem la variació del trànsit al llarg dels anys. Amb això a futures prediccions, es podrien indicar en quin percentatge es vol variar el tràfic i mesurar les seves conseqüències directes que tindrien en les emissions.
- Possibilitat de controlar les emissions en temps reals de tots els vehicles i aplicar restriccions d'emissions per any, per a cada tipus de vehicle. Es tindrien les emissions controlades, i a més es reduiria el tràfic, ja que els vehicles més contaminants no hi podrien circular per arribar al límit d'emissions. Amb l'ajuda d'IA, es podria predir si els vehicles compleixen les restriccions d'emissions i amb això informar si s'ha de reduir la circulació del vehicle.
- Millorar la fluïdesa del tràfic amb l'ajuda de senyals intel·ligents. Per exemple, en aquells trams de vies on predominem els semàfors, es podrien utilitzar càmeres amb reconeixement d'imatges. Aquests podrien detectar si hi existeixen vianants o altres vehicles i per tant, realitzar plans viaris en temps real.
- Millorar l'etiquetatge actual per part de la DGT. Actualment es basa en el compliment de les normes Euro. Però aquestes es troben subjectes en molts casos a cicles antiquats i juntament amb casos de falsejament d'emissions, significa que existeixen vehicles moderns que contaminen molt més que vehicles més antics menys contaminants.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *The Technology That Could End Traffic Jams - BBC Future*.
<https://www.bbc.com/future/article/20181212-can-artificial-intelligence-end-traffic-jams>. Accessed Mar. 2020.
- [2] *Artificial Intelligence to Solve Traffic Woes*.
<https://bangaloremirror.indiatimes.com/bangalore/others/artificial-intelligence-to-solve-traffic-woes/articleshow/70777612.cms>. Accessed Mar. 2020.
- [3] *Surtrac Allows Traffic To Move at the Speed of Technology*.
<https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2019/october/traffic-moves-at-speed-of-technology.html>. Accessed Mar. 2020.
- [4] *Surtrac: Adaptive Traffic Management System for Traffic Optimization*.
<https://www.rapidflowtech.com/surtrac/how-it-works>. Accessed Mar. 2020.
- [5] *Traffic Monitoring in a Section (AI) - Advantech*.
<https://www.advantech.eu/resources/video/traffic-monitoring-in-a-section-ai>. Accessed Mar. 2020.
- [6] *Artificial Intelligence*.
https://www.sciencedaily.com/terms/artificial_intelligence.htm. Accessed Nov. 2019.
- [7] *The History of Artificial Intelligence- Science in the News*.
<http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/>. Accessed Nov. 2019.
- [8] Turing, A. M. "COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE." *Computing Machinery and Intelligence*. *Mind*, 1950, pp. 433–60,
<https://www.csee.umbc.edu/courses/471/papers/turing.pdf>. Accessed Nov. 2019.
- [9] *Logic Theorist - Complete History of the Logic Theorist Program*. <https://history-computer.com/ModernComputer/Software/LogicTheorist.html>. Accessed Nov. 2019.
- [10] DARPA, ARPA, Defense / Advanced Research Project Agency.
https://www.livinginternet.com/i/ii_darpa.htm. Accessed Nov. 2019.
- [11] *Dragon Systems SPEECH-RECOGNITION SOFTWARE - July 6, 1998*.
https://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune_archive/1998/07/06/244793/index.htm. Accessed Nov. 2019.
- [12] *AlanTuring.Net What Is AI?*
[http://www.alanturing.net/turing_archive/pages/Reference Articles/What is AI.html](http://www.alanturing.net/turing_archive/pages/Reference%20Articles/What%20is%20AI.html). Accessed Nov. 2019.
- [13] *A Simple Way to Explain How to Build an AI System - Becoming Human: Artificial Intelligence Magazine*. <https://becominghuman.ai/a-simple-way-to-explain-how-to-build-an-ai-system-61f0e7367606>. Accessed Feb. 2020.

- [14] *Inteligencia Artificial - Libro Online de IAAR*.
<https://iaarbook.github.io/inteligencia-artificial/>. Accessed Feb. 2020.
- [15] *A Brief Introduction to Supervised Learning - Towards Data Science*.
<https://towardsdatascience.com/a-brief-introduction-to-supervised-learning-54a3e3932590>. Accessed Feb. 2020.
- [16] *Linear Regression — Detailed View - Towards Data Science*.
<https://towardsdatascience.com/linear-regression-detailed-view-ea73175f6e86>. Accessed Feb. 2020.
- [17] *Logistic Regression — Detailed Overview - Towards Data Science*.
<https://towardsdatascience.com/logistic-regression-detailed-overview-46c4da4303bc>. Accessed Feb. 2020.
- [18] *Support Vector Machine — Introduction to Machine Learning Algorithms*.
<https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-introduction-to-machine-learning-algorithms-934a444fca47>. Accessed Feb. 2020.
- [19] *Naive Bayes Classifier - Towards Data Science*.
<https://towardsdatascience.com/naive-bayes-classifier-81d512f50a7c>. Accessed Feb. 2020.
- [20] *Machine Learning Basics with the K-Nearest Neighbors Algorithm*.
<https://towardsdatascience.com/machine-learning-basics-with-the-k-nearest-neighbors-algorithm-6a6e71d01761>. Accessed Feb. 2020.
- [21] *An Introduction to Random Forest - Towards Data Science*.
<https://towardsdatascience.com/random-forest-3a55c3aca46d>. Accessed Feb. 2020.
- [22] *Bagging, Boosting, and Gradient Boosting - Towards Data Science*.
<https://towardsdatascience.com/bagging-boosting-and-gradient-boosting-1a8f135a5f4e>. Accessed Feb. 2020.
- [23] *Understanding K-Means Clustering in Machine Learning*.
<https://towardsdatascience.com/understanding-k-means-clustering-in-machine-learning-6a6e67336aa1>. Accessed Feb. 2020.
- [24] *¿Qué Es Una Neural Network? - IONOS*. <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/marketing-para-motores-de-busqueda/que-es-una-neural-network/>. Accessed Feb. 2020.
- [25] *Q-Learning - Towards Data Science*. <https://towardsdatascience.com/q-learning-54b841f3f9e4>. Accessed Feb. 2020.
- [26] *Understanding Generative Adversarial Networks (GANs)*.
<https://towardsdatascience.com/understanding-generative-adversarial-networks-gans-cd6e4651a29>. Accessed Feb. 2020.

- [27] *AI Hardware and the Battle for More Computational Power*. <https://medium.com/sciforce/ai-hardware-and-the-battle-for-more-computational-power-3272045160a6>. Accessed Feb. 2020.
- [28] *8 Reasons Why Python Is Good for Artificial Intelligence and Machine Learning*. <https://djangostars.com/blog/why-python-is-good-for-artificial-intelligence-and-machine-learning/>. Accessed Feb. 2020.
- [29] *AI with R*. http://intelligency.org/ai_r.php. Accessed Feb. 2020.
- [30] *Top 18 Artificial Intelligence Platforms in 2020 - Reviews, Features, Pricing, Comparison - PAT RESEARCH: B2B Reviews, Buying Guides & Best Practices*. <https://www.predictiveanalyticstoday.com/artificial-intelligence-platforms/>. Accessed Feb. 2020.
- [31] *REPORT: Top 10 AI Jobs, Salaries and Cities - Indeed Blog*. <http://blog.indeed.com/2019/06/28/top-10-ai-jobs-salaries-cities/>. Accessed Feb. 2020.
- [32] *How to Create an AI Model - Nexoya*. <https://www.nexoya.com/blog/how-to-create-an-ai-model/>. Accessed Feb. 2020.
- [33] *What Is AI Training Data? | Lionbridge AI*. <https://lionbridge.ai/articles/what-is-ai-training-data/>. Accessed Feb. 2020.
- [33] *How to Train Your AI - Revain - Medium*. <https://medium.com/revain/how-to-train-your-ai-98113bdac101>. Accessed Feb. 2020.
- [34] *Optimization: The Secret Weapon of AI Modeling at Scale - The New Stack*. <https://thenewstack.io/optimization-the-secret-weapon-of-ai-modeling-at-scale/>. Accessed Feb. 2020.
- [35] *[ML] | How to Evaluate a Machine Learning Model*. <https://blog.skyl.ai/evaluating-a-machine-learning-model/>. Accessed Feb. 2020.
- [36] *Regression: An Explanation of Regression Metrics And What Can Go Wrong*. <https://towardsdatascience.com/regression-an-explanation-of-regression-metrics-and-what-can-go-wrong-a39a9793d914>. Accessed Feb. 2020.
- [37] *Advantages and Disadvantages of Artificial Intelligence*. <https://towardsdatascience.com/advantages-and-disadvantages-of-artificial-intelligence-182a5ef6588c>. Accessed Feb. 2020.
- [37] *Advantages and Disadvantages of Artificial Intelligence | AI for Beginners*. <https://ai4beginners.com/advantages-and-disadvantages-of-artificial-intelligence/>. Accessed Feb. 2020.
- [38] *Zona de Bajas Emisiones Barcelona: Afectados Recurrirán Al TSJC*. <https://www.elperiodico.com/es/barcelona/20200107/zona-bajas-emisiones-recurso-tsjc-barcelona-7797527>. Accessed May 2020.

- [39] *Creating an AI Can Be Five Times Worse for the Planet than a Car* / New Scientist. <https://www.newscientist.com/article/2205779-creating-an-ai-can-be-five-times-worse-for-the-planet-than-a-car/>. Accessed May 2020.
- [40] *La Madurez Del Uso de La Inteligencia Artificial*. <https://www.bloglenovo.es/el-invierno-de-la-inteligencia-artificial-cada-vez-mas-cerca/>. Accessed May 2020.
- [41] *La Madurez de La Inteligencia Artificial En 2018 - Think Big Empresas*. <https://empresas.blogthinkbig.com/madurez-de-la-inteligencia-artificial-en-2018/>. Accessed May 2020.
- [42] *Las Multinacionales Eligen Barcelona Para Abrir Centros Tecnológicos*. <https://www.elperiodico.com/es/economia/20180708/barcelona-centros-tecnologicos-mundiales-6928754>. Accessed May 2020.
- [43] *Barcelona Impulsará Soluciones Innovadoras Para Mejorar La Calidad de Vida, Movilidad y Medio Ambiente*. https://www.abc.es/espana/catalunya/barcelona/abci-barcelona-impulsara-soluciones-innovadoras-para-mejorar-calidad-vida-movilidad-y-medio-ambiente-202002071406_noticia.html. Accessed May 2020.
- [44] *El Otro Soberanismo, Por Miquel Molina*. <https://www.lavanguardia.com/cultura/20190210/46324561431/el-otro-soberanismo.html>. Accessed May 2020.
- [45] *Ajuntament de Barcelona. Pla Clima 2018-2030*. 2018, https://www.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/sites/default/files/documents/pla_clima_cat_maig_ok.pdf. Accessed Apr. 2020.
- [46] *Directgov - Download Car Fuel and Emissions Information*. <https://carfueldata.vehicle-certification-agency.gov.uk/downloads/default.aspx>. Accessed May 2020.
- [47] *WLTP y RDE - Ensayos de Consumos y Emisiones / Abarth*. <https://www.abarth.es/wltp-y-rde>. Accessed Apr. 2020.
- [48] *AIRIndex*. <https://airindex.com/search/results>. Accessed Apr. 2020.
- [49] *Vía Pública - Wikipedia, La Enciclopedia Libre*. https://es.wikipedia.org/wiki/Vía_pública. Accessed Apr. 2020.
- [50] *Del Concepto de Ingeniería de Tránsito Al de Movilidad Urbana Sostenible - Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6108893.pdf>. Accessed Apr. 2020.
- [51] *“PNE 199152-1 EQUIPAMIENTO PARA LA GESTIÓN DEL TRÁFICO.” CALIDAD DE DATOS ANÁLISIS DE DATOS DE TRÁFICO INTERURBANO, 2015, pp. 1–23*, <https://onedrive.live.com/?authkey=%21AKh8pgEHzyks5xI&cid=08335CE55FF55CDB&id=8335CE55FF55CDB%211403&parId=root&o=OneUp>. Accessed Apr. 2020.

- [52] *TEMA 30 - Especialidad Gestión Del Tráfico*.
[http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2011/TEMA_30 - Especialidad Gestion del Trafico.pdf](http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2011/TEMA_30_-_Especialidad_Gestion_del_Trafico.pdf). Accessed Apr. 2020.
- [53] *Estación de Toma de Datos (ETD) / Indra*.
<https://www.indracompany.com/es/estacion-toma-datos-etd?line=75329>. Accessed Apr. 2020.
- [53] *Estación Remota Universal (ERU) / Indra*.
<https://www.indracompany.com/es/estacion-remota-universal-eru>. Accessed Apr. 2020.
- [54] *Perfils de Contractant / Plataforma Electrònica de Contractació Pública*.
https://contractaciopublica.gencat.cat/ecofin_pscp/AppJava/questionsView.pscp?reqCode=view&cn=39751792&type=pcan. Accessed Apr. 2020.
- [55] *Tuneles y Carreteras Fibra Optica*. <https://silexfiber.com/tuneles-y-carreteras/>. Accessed Apr. 2020.
- [56] *¿Qué Es Un Servidor Informático? / Definición y Explicación - IONOS*.
<https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-un-servidor-un-concepto-dos-definiciones/>. Accessed Apr. 2020.
- [57] *¿Qué Es Un Gestor de Datos y Para Qué Sirve?* <https://blog.powerdata.es/el-valor-de-la-gestion-de-datos/que-es-un-gestor-de-datos-y-para-que-sirve>. Accessed Apr. 2020.
- [58] *Mobilitat i Emissions. Mobilitat. Generalitat de Catalunya*.
http://mobilitat.gencat.cat/ca/detalls/Article/mobilitat_emissions-00001. Accessed Apr. 2020.
- [59] *CO2 (Dióxido de Carbono) / PRTR España*.
<http://www.prtr-es.es/dioxido-carbono-774112007.html>. Accessed Apr. 2020
- [60] *Dióxido de Carbono CO2 / Instituto Para La Salud Geoambiental*.
<https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2>. Accessed Apr. 2020.
- [61] *CO2: El Aire Que Exhalamos y Que Está Matando El Planeta / Newtral*.
<https://www.newtral.es/que-es-co2-peligros/20190725/>. Accessed Apr. 2020.
- [62] *CO2 Levels: Current & Historic Atmospheric Carbon Dioxide / Global Temperature Graph & Widget*. <https://www.co2levels.org/>. Accessed Apr. 2020.
- [63] *Global CO2 Emissions in 2019 – Analysis - IEA*.
<https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>. Accessed Apr. 2020.
- [64] *Sector Transporte*
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.aspx>. Accessed Apr. 2020.
- [65] *NOx (Óxidos de Nitrógeno) / PRTR España*. <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>. Accessed Apr. 2020.

- [66] *Óxidos de Nitrógeno*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>. Accessed Apr. 2020.
- [67] *N₂O (Óxido Nitroso) | PRTR España*. <http://www.prtr-es.es/N2O-oxido-nitroso,15592,11,2007.html>. Accessed Apr. 2020.
- [68] *Emissions of Air Pollutants in the UK, 1970 to 2018 – Nitrogen Oxides (NO_x) - GOV.UK*. <https://www.gov.uk/government/publications/emissions-of-air-pollutants/annual-emissions-of-nitrogen-oxides-in-the-uk-1970-2018>. Accessed Apr. 2020.
- [69] *Nitrogen Oxides Emissions United States 2017 | Statista*. <https://www.statista.com/statistics/501284/volume-of-nitrogen-oxides-emissions-us/>. Accessed Apr. 2020.
- [70] *Changes in Coal Sector Led to Less SO₂ and NO_x Emissions from Electric Power Industry - Today in Energy - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37752>. Accessed Apr. 2020.
- [70] *Óxidos de Nitrógeno*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>. Accessed Apr. 2020.
- [71] *Partículas PM₁₀ | PRTR España*. <http://www.prtr-es.es/Particulas-PM10,15673,11,2007.html>. Accessed Apr. 2020.
- [72] *PM_{2.5}: Las Partículas Invisibles Responsables Del “Desastre Social” En Corea Del Sur (y Por Qué Generan Tensiones Con China) - BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48550060>. Accessed Apr. 2020.
- [73] *Variable Indicador Aire*. https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-PM10_f.pdf. Accessed Apr. 2020.
- [74] *Beijing’s Air Quality Improvements Are a Model for Other Cities | Climate & Clean Air Coalition*. <https://www.ccacoalition.org/en/news/beijing%E2%80%99s-air-quality-improvements-are-model-other-cities>. Accessed Apr. 2020.
- [75] *Air Pollutant Emissions Data Viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention) 1990-2017 — European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-pollutant-emissions-data-viewer-2>. Accessed Apr. 2020.
- [76] *Studying Environmental Science: What Is It like and Where Can It Take You?* <https://www.mendeley.com/careers/article/environmental-science/>. Accessed Apr. 2020.
- [77] *Our Team, World Leading Academics in Emissions & Air Quality - AIR Index*. <https://airindex.com/about-air/our-team/>. Accessed Apr. 2020.
- [78] *Our Approach - AIR Index*. <https://airindex.com/about-air/our-approach/>. Accessed Apr. 2020.

- [79] CWA 17379:2019: A New CEN Workshop Agreement Helps Make Our Air Cleaner. <https://www.cen.eu/news/brief-news/pages/news-2019-007.aspx>. Accessed Apr. 2020.
- [80] Banco de Emisiones Por Simulación de Aceleración ASM 4WD - Ryme. <https://www.ryme.com/producto/banco-de-emisiones-por-simulacion-de-aceleracion-asm-4wd/>. Accessed May 2020.
- [81] Así Se Miden Los Gases de CO₂ y NO_x Para Homologar Un Coche | Noticias / Autopista.Es. <https://www.autopista.es/noticias-motor/articulo/como-miden-gases-co2-nox-homologacion-coche-105097>. Accessed May 2020.
- [82] PEMS, Un Nuevo Medio Para El Laboratorio de Motor | CTAG - Centro Tecnológico de Automoción de Galicia. <https://ctag.com/pems-portable-emissions-measurement-system/>. Accessed May 2020.
- [83] Tsiakmakis, S., et al. From NEDC to WLTP: Effect on the Type-Approval CO₂ Emissions of Light-Duty Vehicles. 2017, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC107662/kjna28724enn.pdf>. Accessed May 2020.
- [84] Marotta, Alessandro, et al. Gaseous Emissions from Light-Duty Vehicles: Moving from NEDC to the New WLTP Test Procedure. 2015, <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b01364>. Accessed May 2020.
- [85] Coches.Net. https://www.coches.net/fichas_tecnicas/. Accessed May 2020.
- [85] Marcas de Coches y Modelos, Fichas Técnicas Con Precios y Ofertas | Motor.Es. <https://www.motor.es/marcas/>. Accessed May 2020.
- [86] Ventajas Del Autogas GLP | Gasmoción. <https://www.gasmocion.com/ventajas-del-autogas-glp/>. Accessed May 2020.
- [86] Gas Natural - Un Combustible Alternativo Ecológico- Gasnam. <https://gasnam.es/movilidad-sostenible/gas-natural/>. Accessed May 2020.
- [87] Clasificación de Los Distintivos Ambientales. <http://revista.dgt.es/es/multimedia/infografia/2018/0219distintivos-ambientales.shtml#.Xr3HLtZxdPZ>. Accessed May 2020.
- [88] Tablas Estadísticas 2019. <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/2019/>. Accessed May 2020.
- [89] Análisis sobre los kilómetros anotados en las ITV 2017. <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/infografias/analisis-km-itv.shtml>. Accessed May 2020.